

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 – 28.08.2020

Дата выхода номера – 29.09.2020

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. 11,38

Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/8-2020

Подписной индекс П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

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

ЧИСЛЕННОСТЬ И ВРЕДНОСНОСТЬ ФИТОФАГОВ ЭСПАРЦЕТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРОХИМИЧЕСКИХ ФОНОВ И ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН БИШОФИТОМ <i>Земляницына С.В., Комарова О.П.</i>	5
ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ВИДОВ И ФОРМ РОДА <i>ROBINIA</i> L. ДЛЯ ЛЕСОЗАЩИТНЫХ И ОЗЕЛЕНИТЕЛЬНЫХ НАСАЖДЕНИЙ <i>Лазарев С.Е., Сементютина А.В.</i>	11
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ АВТОЛЕСОВОЗОВ ОТ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ <i>Мохирев А.П., Рукомойников К.П., Герасимова М.М., Медведев С.О.</i>	18
ЭСТЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОВ ЗЕЛеной ЗОНЫ ГОРОДОВ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ) <i>Розломий Н.Г., Гуков Г.В.</i>	26

Науки о Земле (25.00.00)**СТАТЬИ**

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧИСЛА ДНЕЙ С ГРОЗОЙ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ГРОЗ В ГОДУ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КAVKAZA <i>Аджиева А.А., Кереева З.М., Гятов Р.А., Тумгоева Х.А.</i>	32
ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТТАИВАЮЩИХ ГРУНТОВ ЕСТЕСТВЕННОГО СЛОЖЕНИЯ <i>Вахрин И.С., Кузьмин Г.П., Спектр В.В.</i>	37
ХАРАКТЕРИСТИКА СТЕПНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЗАСУШЛИВЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ <i>Жарникова М.А.</i>	43
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДДЕРЖКИ МАЛОГО И СРЕДНЕГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В ГОРОДАХ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН <i>Закиров И.В., Сабирова Л.Ф.</i>	50
ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ НА СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В ПЯТИЛЕТНЕЙ ДИНАМИКЕ <i>Марьянских С.Г., Агейкина О.В.</i>	56
ПРОГРАММА РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДРАГЛАЙНА ПРИ РАЗРАБОТКЕ СМЕРЗАЮЩЕЙСЯ ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ <i>Панишев С.В., Миронов Я.В.</i>	63
О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЛУЧШИХ ВУЗОВ И СРЕДНИХ ШКОЛ ПО МАКРОРЕГИОНАМ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ <i>Попов П.Л., Чернев А.А.</i>	69
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЛЕДОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (CU, SB, PB, V, ZN) НА ТЕРРИТОРИИ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН МОСКВЫ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНИКИ «МОХ В МЕШКАХ» <i>Швецова М.С., Каманина И.З., Мададзада А.И., Нехорошков П.С., Юшин Н.С., Зиньковская И.И., Павлов С.С., Фронтасьева М.В.</i>	74
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД <i>Ямашкин А.А., Ямашкин С.А., Зибров Г.В., Закусилов В.П., Зарубин О.А., Мучкаева Н.С.</i>	83

CONTENTS
Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)
ARTICLES

NUMBER AND HARMFULNESS OF SAINFOIN PHYTOPHAGES DEPENDING ON AGROCHEMICAL BACKGROUNDS AND PRE-SOWING SEED TREATMENT BY BISHOPHITE <i>Zemlyanitsyna S.V., Komarova O.P.</i>	5
PROSPECTS OF SPECIES AND FORMS OF THE GENUS <i>ROBINIA</i> L. FOR FOREST PROTECTION AND LANDSCAPING <i>Lazarev S.E., Semenyutina A.V.</i>	11
INVESTIGATION OF THE DEPENDENCE OF THE SPEED OF LOGGING TRUCKS ON NATURAL AND CLIMATIC FACTORS <i>Mokhirev A.P., Rukomoynikov K.P., Gerasimova M.M., Medvedev S.O.</i>	18
AESTHETIC ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL POTENTIAL OF THE URBANIZED AREA (ON THE EXAMPLE OF FORESTS IN THE GREEN ZONE OF THE CITIES OF THE SOUTH) <i>Rozlomiy N.G., Gukov G.V.</i>	26

Earth sciences (25.00.00)
ARTICLES

RESEARCH OF THE NUMBER OF DAYS WITH A THUNDERSTORM AND THE DURATION OF THUNDERSTORMS PER YEAR IN THE NORTH CAUCASUS <i>Adzhieva A.A., Kerefova Z.M., Gyatov R.A., Tumgoeva Kh.A.</i>	32
THAW DEFORMATION CHARACTERISTICS OF UNDISTURBED SOILS <i>Vakhrin I.S., Kuzmin G.P., Spektr V.V.</i>	37
CHARACTERISTICS OF THE STEPPE VEGETATION OF ARID TERRITORIES OF CENTRAL ASIA <i>Zharnikova M.A.</i>	43
IMPROVING SUPPORT FOR SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES IN THE CITIES OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN <i>Zakirov I.V., Sabirova L.F.</i>	50
INFLUENCE OF THE PROCESS OF PRODUCING HYDROCARBONS ON THE STATE OF SURFACE WATERS IN THE FIVE-YEAR DYNAMICS <i>Maryinsky S.G., Ageikina O.V.</i>	56
PROGRAM FOR CALCULATING DRAGLINE PERFORMANCE IN THE DEVELOPMENT OF FROZEN BLASTED ROCK MASS <i>Panishhev S.V., Mironov Ya.V.</i>	63
ON THE DISTRIBUTION OF THE BEST UNIVERSITIES AND SECONDARY SCHOOLS IN THE MACROREGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION <i>Popov P.L., Cherenev A.A.</i>	69
DETERMINATION OF TRACE ELEMENTS (CU, SB, PB, V, ZN) IN THE TERRITORY OF RECREATION ZONES OF MOSCOW USING THE «MOSS BAGS» TECHNIQUE <i>Shvetsova M.S., Kamanina I.Z., Madadzada A.I., Nekhoroshkov P.S., Yushin N.S., Zinkovskaya I.I., Pavlov S.S., Frontaseva M.V.</i>	74
GEOECOLOGICAL ANALYSIS AND FORECAST OF ECONOMIC DEVELOPMENT OF UNDERGROUND WATERS <i>Yamashkin A.A., Yamashkin S.A., Zibrov G.V., Zakusilov V.P., Zarubin O.A., Muchkaeva N.S.</i>	83

СТАТЬИ

УДК 632.7:631.8:633.36/.37:631.67

**ЧИСЛЕННОСТЬ И ВРЕДНОСТЬ ФИТОФАГОВ ЭСПАРЦЕТА
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРОХИМИЧЕСКИХ ФОНОВ
И ПРЕПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН БИШОФИТОМ**

Земляницына С.В., Комарова О.П.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия»,
Волгоград, e-mail: komarova62@rambler.ru*

В статье рассмотрены вопросы уточнения видового состава энтомофауны фитотируса и герпетобия в агроценозе эспарцета, используемого на зеленую массу в течение трех лет жизни, определено влияние различных агрохимических фонов и предпосевной обработки семян бишофитом на численность и вредность фитофагов фитотируса в условиях орошения. Установлено, что в энтомоценозе эспарцета входит 875 видов насекомых, в числе которых 387 видов фитофагов. Наиболее многочисленными в энтомоценозе эспарцета в Нижнем Поволжье являются представители отрядов Coleoptera и Hymenoptera (29,0 и 28,9% от общего числа видов). Среди фитофагов отмечены как многоядные, так и специализированные виды. Периодически эспарцету наносят серьезные повреждения полифаги: луговой мотылек, люцерновая и хлопковая совки, медведка обыкновенная, личинки шелкоунов и чернотелок и др. Из олигофагов вредят листовой люцерновый долгоносик, различные виды клубеньковых долгоносиков, люцерновый клоп. Наиболее многочисленными энтомофагами герпетобия являются жуки – 78 видов. Среди энтомофагов, обитающих в травостое эспарцета, наиболее многочисленны и активны хищные клопы – *Nabis* spp., *Orius* spp., хищные трипсы, жуки и личинки семейства Coccinellidae. Из паразитических перепончатокрылых зарегистрированы представители семейств Ichneumonidae, Pteromalidae, Tetrastichidae, Scelionidae. Дана оценка изменения численности фитофагов под воздействием удобрений и предпосевной обработки семян эспарцета песчаного бишофитом в условиях орошения. Показано, что применение минеральных и органических удобрений на посевах эспарцета в сравнении с контролем (без применения удобрений) во всех случаях способствует достоверному снижению численности вредителей на посевах второго и третьего лет жизни эспарцета в орошаемых условиях. Установлено, что обработка семян эспарцета бишофитом оказала сдерживающее влияние на численность всех изучаемых видов фитофагов, снижение численности вредителей при применении бишофита составило от 28,5 до 58% на посевах второго и третьего лет жизни.

Ключевые слова: эспарцет, фитофаги, энтомофаги, орошение, агрохимический фон, бишофит

**NUMBER AND HARMFULNESS OF SAINFOIN PHYTOPHAGES
DEPENDING ON AGROCHEMICAL BACKGROUNDS
AND PRE-SOWING SEED TREATMENT BY BISHOPHITE**

Zemlyanitsyna S.V., Komarova O.P.

All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, Volgograd, e-mail: komarova62@rambler.ru

The article considers the issues of clarifying the species composition of entomofauna of phytotier and herpetobium in sainfoin agrocenosis, used on green mass during three years of life, determined the influence of various agrochemical backgrounds and pre-treatment of seeds with bischofite on the number and harmfulness of phytophages of phytotier in irrigation conditions. It has been established that sainfoin entomocenosis includes 875 species of insects, including 387 species of phytophages. The most numerous in the sainfoin entomocenosis in the Lower Volga region are representatives of the orders Coleoptera and Hymenoptera (29.0 and 28.9% of the total number of species). Among phytophages, both multi-species and specialized species are noted. Periodically, sainfoin are seriously damaged by polyphages: meadow moth, alfalfa and cotton scoops, common bear, larvae of elaterid and darkling beetles, etc. Leaf alfalfa weevil, various types of sitona, alfalfa plant bug harm from oligophages. The most numerous entomophages of herpetobium are representatives of the Carabidae family – 78 species. Among the entomophages living in the sainfoin herb, the most numerous and active predatory bugs are *Nabis* spp., *Orius* spp., predatory thrips, beetles and larvae of the Coccinellidae family. Representatives of the families Ichneumonidae, Pteromalidae, Tetrastichidae, Scelionidae are registered from parasitic-hymenoptera. An estimate of the change in the number of phytophages under the influence of fertilizers and pre-treatment of sainfoin seeds with bischofite in irrigation conditions is given. It has been shown that the use of mineral and organic fertilizers on sainfoin in comparison with control (without the use of fertilizers) in all cases contributes to a reliable reduction in the number of pests on crops of the second and third years of sainfoin life under irrigated conditions. It was found that the treatment of sainfoin seeds with bischofite had a restraining effect on the number of all studied species of phytophages, the decrease in the number of phytophages using bischofite ranged from 28.5 to 58% on crops of the second and third years of life.

Keywords: sainfoin, phytophages, entomophages, irrigation, agrochemical background, bischofite

Обеспечение животноводства растительным кормовым белком за счет расширения площадей возделывания и повышения урожайности многолетних бобовых трав – общемировая проблема [1, 2]. Одной из ключевых задач, поставленных перед агропромышленным комплексом России, является производство высокобелковых

кормов. В решении этой задачи главная роль принадлежит многолетним травам, в частности эспарцету. Эспарцет является перспективной высокобелковой кормовой культурой для кормопроизводства страны. Эспарцет отличается также высоким содержанием жирных масел, аскорбиновой кислоты, безазотистых экстрактивных веществ и незаменимых аминокислот [3, 4]. Хозяйственная значимость эспарцета не исчерпывается его высокой питательной ценностью. Эта культура ценна также его способностью повышать содержание в почве азота за счет его фиксации симбиотическими бактериями. По данным С.А. Игнатьева и А.А. Регидина, эспарцет в различных почвенно-климатических зонах способен накапливать от 100 до 180 кг/га биологического азота, это прекрасный предшественник. Его также можно использовать и в качестве сидерата, что позволяет снизить количество минеральных удобрений при выращивании последующих культур [1].

Это особенно важно для условий орошаемого земледелия, поскольку при орошении особо острой является проблема восстановления и поддержания на высоком уровне плодородия почв, как основы получения стабильных урожаев сельскохозяйственных культур.

Среди резервов повышения урожайности эспарцета одними из важнейших являются вопросы научно обоснованной защиты его от вредителей. Поражение комплексом фитофагов в значительной степени (от 30 до 50%) снижает продуктивность эспарцета и качество корма [5–7]. В связи с этим проблема защиты посевов эспарцета от патогенов в технологии возделывания этой культуры становится одной из наиболее актуальных.

Цель исследования: изучить видовой состав энтомокомплекса эспарцета песчаного в Нижнем Поволжье, определить влияние различных агрохимических фонов и предпосевной обработки семян бишофитом на численность и вредоносность фитофагов в орошаемых условиях.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились нами в 2004–2016 гг. на посевах эспарцета в ФГУП «Орошаемое» ФГБНУ ВНИИОЗ (г. Волгоград). Климат региона резко континентальный, засушливый. Почвы региона исследований светло-каштановые, по механическому составу – тяжелосуглинистые. Способ орошения – дождевание (ДМ Мини

Кубань – К) при поддержании предпосевной влажности почвы не ниже 70–75% НВ.

Изучение видового состава энтомофауны эспарцета, численности и вредоносности фитофагов проводили в полевых двухфакторных опытах. Первый фактор – 5 вариантов агрохимических фонов: контроль (без внесения удобрений); $N_{30}P_{90}K_{70} + N_{100}$ (в подкормку); сидерат $20 \text{ т/га} + P_{30}$; солома $6 \text{ т/га} + N_{60}$ и навоз в дозе 60 т/га . Вторым фактором – предпосевная обработка семян бишофитом и контроль (без обработки).

Учеты насекомых проводили еженедельно на посевах эспарцета первого-третьего лет жизни в течение вегетационного сезона: насекомых фитояруса учитывали методом кошени энтомологическим сачком со съёмными мешочками с пересчетом численности насекомых на 1 м^2 , герпетофауну – почвенными ловушками Барбера [8, 9].

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы Microsoft Office Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

За годы исследований (2004–2016 гг.) на посевах эспарцета нами было собрано более 93 тыс. экземпляров различных видов насекомых, относящихся к 875 видам, из которых 387 видов – фитофаги.

В энтомокомплексе эспарцета в Нижнем Поволжье наиболее многочисленны по количеству видов отряды Coleoptera и Hymenoptera – соответственно 29,0 и 28,9% от общего числа видов. Большое количество видов принадлежит к отрядам Diptera и Orthoptera (16,4 и 12,2% видов). На долю остальных семи отрядов (Manteoptera, Dermaptera, Homoptera, Hemiptera, Thysanoptera, Lepidoptera, Neuroptera) в агроценозе эспарцета приходится суммарно 13,5% видов (рисунок).

Посевы эспарцета подвергаются нападению довольно большого комплекса вредителей, среди которых имеются как многоядные, так и специализированные виды. Такие многоядные виды, как луговой мотылек (*Loxostege sticticalis* L.), люцерновая (*Heliothis virescens* Hfn.) и хлопковая (*Helicoverpa armigera* Hbn.) совки, наносят весьма существенный вред этой культуре. Заметно вредят также медведка обыкновенная (*Gryllotalpa gryllotalpa* L.), личинки щелкунов и чернотелок (сем. Elateridae и Tenebrionidae), личинки ростковых мух (*Delia* spp.) и другие почвообитающие вредители, по-

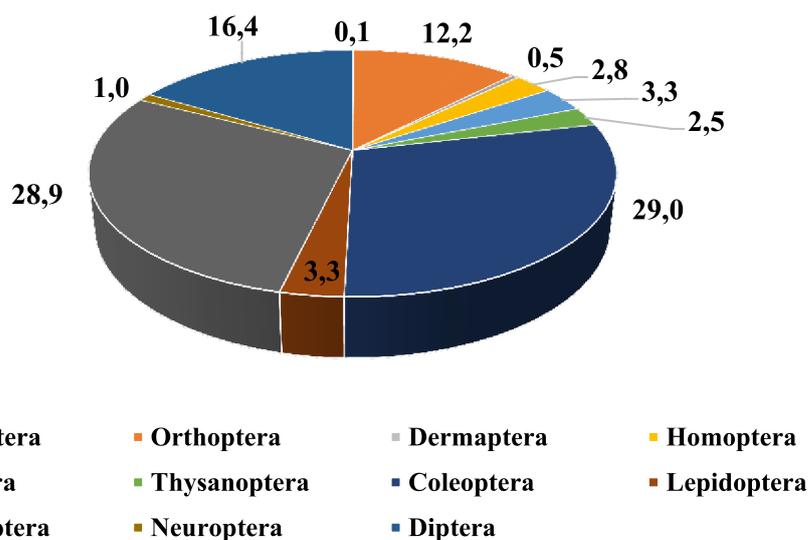
вреждающие подземные и прикорневые части растений. Периодически эспарцету наносят серьезные повреждения саранчовые насекомые (сем. Acrididae), свекловичные долгоносики (*Asproparthenis punctiventris* Germar, *Tanymecus* spp.), свекловичный клоп (*Poeciloscytus cognatus* Fieb.) и др.

Из олигофагов наиболее серьезными являются листовая люцерновый долгоносик (*Hypera postica* Gyll.), повреждающий листья, различные виды клубеньковых долгоносиков (*Sitona* spp.), жуки которых объедают листья, а личинки питаются на корнях. Корни эспарцета повреждаются личинками большого люцернового долгоносика (*Otiorynchys ligustici* L.). Также вредоносны люцерновый клоп (*Adelphocoris lineolatus* Goeze.), полевые клопы (*Lygus* spp.), гороховая тля (*Acyrtosiphon pisum* Harris.).

Из энтомофагов, обитающих в травостое эспарцета, к наиболее многочисленным и активным можно отнести хищных клопов – набисов и ориусов (*Nabis fesus* L., *Orius niger* Wolff.), хищного трипса (*Thrips* spp.), жуков и личинок тлевых коровок (сем. Coccinellidae). В травостое эспарцета отмечены также имаго перепончатокрылых из семейств Ichneumonidae, Pteromalidae, Tetrastichidae, Scelionidae. Среди энтомофагов напочвенного яруса доминируют жукелицы (Carabidae), 78 видов которых зарегистрировано на посевах эспарцета. В своем большинстве жукелицы являются активными хищниками [10, 11]. Наиболее многочисленны среди жукелиц *Calosoma auropunc-*

tatum Hbst., *Poecilus cupreus* L., *P. sericeus* F.-W., *Pseudoophonus rufipes* L., *Harpalus distinguendus* Duft. В сборах почвенными ловушками эти виды составили 72–75%. Доминантные виды родов *Calosoma* и *Poecilus* по характеру питания являются активными хищниками, а для представителей *Pseudoophonus* spp. и *Harpalus* spp. характерно смешанное питание.

В наших исследованиях дана оценка влияния различных агрохимических фонов и предпосевной обработки семян эспарцета бишофитом на численность и вредоносность основных видов фитофагов в условиях орошения. В литературе отмечается, что научно обоснованное применение минеральных и органических удобрений не только оказывает положительное влияние на рост и развитие растений эспарцета, но и повышает их устойчивость к комплексу фитофагов [12, 13]. Особенно важна в регулировании численности вредителей подкормка посевов минеральными удобрениями. Исследованиями А.Е. Прокопчука установлено, что сбалансированное внесение минеральных удобрений приводит к развитию более мощной корневой системы, способствует повышению устойчивости растений при перезимовке, повышает долговечность посевов, дает значительную прибавку урожая. Применение оптимальных доз минеральных удобрений оказывает существенное сдерживающее влияние на фитофагов эспарцета, уменьшая численность и вредоносность главнейших вредителей [13].



Распределение видов в энтомокомплексе эспарцета по отрядам, 2004–2016 гг.

Влияние минеральных и органических удобрений на численность вредителей эспарцета (фаза стеблевания), среднее за 2004–2016 гг.

Вариант	Численность фитофагов, экз/м ²					
	клубеньковые долгоносики		лиственной люцерновый долгоносик		люцерновый клоп	
	предпосевная обработка бишофитом	без обработки бишофитом	предпосевная обработка бишофитом	без обработки бишофитом	предпосевная обработка бишофитом	без обработки бишофитом
Посевы второго года жизни						
Контроль	0,82	1,83	0,67	1,62	0,34	0,68
N ₃₀ P ₉₀ K ₇₀ + N ₁₀₀	0,31	0,68	0,24	0,82	0,15	0,30
Сидерат, 20 т/га	0,3	0,71	0,31	1,13	0,15	0,23
Солома, 6 т/га + N ₆₀	0,24	0,52	0,44	0,96	0,18	0,31
Навоз, 60 т/га	0,29	0,63	0,48	1,01	0,20	0,28
HCP ₀₅ (AB)	0,41		0,15		0,13	
Посевы третьего года жизни						
Контроль	2,96	4,36	1,42	2,94	2,31	3,58
N ₃₀ P ₉₀ K ₇₀ + N ₁₀₀	1,42	3,24	0,87	1,92	1,61	2,49
Сидерат, 20 т/га	1,56	3,01	0,94	2,02	1,42	2,30
Солома, 6 т/га + N ₆₀	1,63	3,74	0,98	1,78	1,47	2,43
Навоз, 60 т/га	1,54	3,28	1,01	1,53	1,38	2,35
HCP ₀₅ (AB)	0,58		0,38		0,64	

Из макроэлементов важнейшую роль в снижении ущерба от фитофагов играет фосфор. Воздействие фосфора на насекомых происходит опосредованно и связано с некоторыми особенностями действия этого элемента на растения эспарцета. Внесение фосфорно-калийных удобрений сдвигает баланс обменных реакций в растении в сторону синтеза высокомолекулярных органических соединений, при этом снижается обводненность клеток и доступность корма для фитофагов уменьшается [13].

Рассматривая роль органических удобрений в регулировании численности и вредоносности фитофагов, П.В. Писаренко и С.В. Пономаренко [14] указывают, что внесение сидератов в рамках органической системы земледелия положительно сказывается на снижении численности вредителей и возрастании количества жуужелиц.

В наших исследованиях дана оценка изменения численности фитофагов под воздействием различных агрохимических фонов и предпосевной обработки семян эспарцета песчаного бишофитом в условиях орошения. Результаты изучения влияния минеральных и органических удобрений на плотность вредителей эспарцета второго и третьего лет жизни в фазу стеблевания представлены в таблице.

На основании проведенных исследований нами установлена зависимость численности вредителей эспарцета от применения различных доз минеральных и органических удобрений, а также положительное воздействие предпосевной обработки семян эспарцета бишофитом на снижение плотности фитофагов.

Результаты, представленные в таблице, показывают, что применение минеральных и органических удобрений в сравнении с контролем (без применения удобрений) во всех случаях способствовало достоверному снижению численности вредителей на посевах второго и третьего лет жизни эспарцета в орошаемых условиях. Так, численность имаго клубеньковых долгоносиков снижалась с 0,82–1,83 экз/м² на посевах второго года жизни без применения удобрений до 0,24–0,71 экз/м² на вариантах с внесением минеральных и органических удобрений, на посевах третьего года жизни – с 2,96–4,36 до 1,42–3,74 экз/м² соответственно. Численность люцернового фитономуса – одного из опасных вредителей многолетних бобовых трав, снижалась с 0,67–1,62 на контроле второго года жизни до 0,24–1,13 экз/м² на различных агрохимических фонах. Посевы эспарцета третьего года жизни накапливали вредите-

ля в большей степени, но также наблюдалось сокращение численности фитофага – с 1,42–2,94 на контроле до 0,87–2,02 экз/м² на агрохимических фонах. Численность люцернового клопа без применения удобрений составляла во второй год жизни 0,34–0,68, в третий год – 2,31–3,58 экз/м², а при внесении удобрений снижалась соответственно до 0,15–0,31 и 1,38–2,49 экз/м². Сокращение численности фитофагов фитояруса в вариантах с расчетными нормами минеральных удобрений и различными видами органических удобрений объясняется тем, что при улучшении питания формируются растения с более мощным габитусом, стенки клеток эпителия утолщаются, что приводит к снижению доступности растений для потребления вредителями.

Сравнивая между собой варианты с применением минеральных и органических удобрений, отметим, что не выявлено достоверных различий снижения численности клубеньковых долгоносиков, листового люцернового долгоносика и люцернового клопа по вариантам применения как расчетных доз минеральных удобрений, так и различных видов органических удобрений. Хотелось бы отметить также, что в научной литературе недостаточно сведений о влиянии органических удобрений на фитофагов фитояруса, хотя есть интересные работы по оценке влияния систем органических, минеральных удобрений и фитомассы растительных сидератов на почвенную мезо- и макрофауну [15].

По нашим данным, обработка семян эспарцета бишофитом оказала сдерживающее влияние на численность всех изучаемых видов фитофагов как на посевах второго, так и третьего лет жизни. Установлено, что применение бишофита снизило численность ситонов на посевах второго года жизни на 55,1–57,7%, на посевах третьего года жизни – на 32,1–56,4%. Снижение численного обилия листового люцернового долгоносика составило соответственно 52,4–58,6 и 34,0–54,6%, а люцернового клопа – 28,5–50,0 и 35,3–41,2%.

Заключение

Исследованиями установлено, что в энтомоценозе эспарцета входит 875 видов, в числе которых 387 видов фитофагов. Наиболее многочисленными в энтомокомплексе эспарцета в Нижнем Поволжье являются представители отрядов Coleoptera и Hymenoptera (29,0 и 28,9% от общего числа видов).

Среди фитофагов фитояруса отмечены как многоядные, так и специализированные виды. Периодически эспарцету наносят серьезные повреждения полифаги: луговой мотылек (*Loxostege sticticalis* L.), люцерновая (*Heliothis virescens* Hfn.) и хлопковая (*Helicoverpa armigera* Hbn.) совки, медведка обыкновенная (*Gryllotalpa gryllotalpa* L.), личинки щелкунов и чернотелок (сем. Elateridae и Tenebrionidae) и др. Из олигофагов значительны повреждения листовым люцерновым долгоносиком (*Hypera postica* Gyll.), жуками и личинками различных видов клубеньковых долгоносиков (*Sitona* spp.), имаго и личинками люцернового клопа (*Adelphocoris lineolatus* Goeze.) и гороховой тлей (*Acyrtosiphon pisum* Harris.).

Наиболее многочисленными энтомофагами герпетобия являются представители семейства жужелиц, их зарегистрировано 78 видов. В фитоярусе эспарцета зарегистрированы хищные клопы из родов *Nabis* и *Orius*, хищные трипсы (*Thrips* spp.), жуки и личинки из семейства Coccinellidae. В травостое эспарцета отмечены также имаго перепончатокрылых из семейств Ichneumonidae, Pteromalidae, Tetrastichidae, Scelionidae.

Исследования показывают, что применение минеральных и органических удобрений на посевах эспарцета в сравнении с контролем (без применения удобрений) во всех случаях способствует достоверному снижению численности вредителей на посевах второго и третьего лет жизни эспарцета в орошаемых условиях. Установлено, что обработка семян эспарцета бишофитом оказала сдерживающее влияние на численность всех изучаемых видов фитофагов, снижение численности вредителей при применении бишофита составило от 28,5 до 58,6% на посевах второго и третьего лет жизни.

Список литературы / References

1. Игнатьев С.А., Регидин А.А. Результативность селекции эспарцета на кормовую и семенную продуктивность // Зерновое хозяйство России. 2018. № 3 (57). С. 49–52. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-57-3-49-52.
2. Ignat'ev S.A., Regidin A.A. The effectiveness of breeding sainfoin on feed and seed productivity // Zernovoe hozjajstvo Rossii. 2018. № 3 (57). P. 49–52 (in Russian).
3. Sheppard S.C., Cattani D.J., Ominski K.H., Biligetu B. Sainfoin production in western Canada: A review of agronomic potential and environmental benefits. Grass and Forage Science. 2019. Vol. 74. Iss. 1. P. 6–18. DOI: 10.1111/gfs.12403.
4. Гасиев В.И., Бекузарова С.А., Калоев Б.С., Осикина Р.В. Продуктивность эспарцета в зависимости от норм и способов посева // Известия Горского государственного аграрного университета. 2017. Т. 54. № 2. С. 37–42.
5. Gasiev V.I., Bekuzarova S.A., Kaloev B.S., Osikina R.V. The productivity of sainfoin depending on the norms and methods of seeding // Izvestija Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. T. 54. № 2. P. 37–42 (in Russian).

4. Золотарев В.Н., Переpravo Н.И. Состояние травосеяния и перспективы развития семеноводства многолетних трав в России и Нижневолжском регионе // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 1 (41). С. 93–101.
- Zolotarev V.N., Perepravo N.I. The state of grass sowing and the prospects for the development of perennial grass seed production in Russia and the Lower Volga region // *Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2016. № 1 (41). P. 93–101 (in Russian).
5. Morrill W.L., Ditterline R.L., Cash S.D. Insect pests and associated root pathogens of sainfoin in western USA. *Field Crops Research*. 1998. Vol. 59. Iss. 2. P. 129–134. DOI: 10.1016/S0378-4290(98)00113-0.
6. Добрынин Н.Д., Прокопчук А.Е. Агротехнические приемы в защите многолетних бобовых трав от вредителей в условиях Юго-Востока ЦЧР // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2013. № 2 (37). С. 198–205.
- Dobrynin N.D., Prokopchuk A.E. Agrotechnical techniques in the protection of perennial leguminous herbs from pests in the conditions of the South-East Central Black Earth Region // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2013. № 2 (37). P. 198–205 (in Russian).
7. Перцева Е.В., Васин В.Г., Перцев С.В. Видовой состав насекомых в смешанных травостоях в лесостепи Самарской области // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 3. С. 16–23.
- Pertseva E.V., Vasin V.G., Pertsev S.V. Species composition of insects in mixed herbage in the forest-steppe of the Samara region // *Izvestija Samarskogo gosudarstvennoj sel'skhozajstvennoj akademii*. 2018. № 3. P. 16–23 (in Russian).
8. Артохин К.С. Метод кошения энтомологическим сачком // Защита и карантин растений. 2010. № 11. С. 45–48.
- Artokhin K.S. Method of mowing entomological nets // *Zashhita i karantin rastenij*. 2010. № 11. P. 45–48 (in Russian).
9. Mykhailenko I.L., Smetana O.M. Method to study soil mesofauna as part consortium ecosystem // Питання біоіндикації та екології. 2014. № 19–1. С. 151–156.
- Mykhailenko I.L., Smetana O.M. Method to study soil mesofauna as part consortium ecosystem // *Pytannja bioindykacii ta ekologii*. 2014. № 19–1. P. 151–156 (in Ukrainian).
10. Комаров Е.В., Калужная Н.С., Черезова Л.Б. Состав и структура сообществ жесткокрылых насекомых (Coleoptera) как показатель состояния степных экосистем Юго-Востока европейской части России // «Степи Северной Евразии: стратегия сохранения природного разнообразия и степного природопользования в XXI веке»: материалы международного симпозиума. 2000. С. 189–190.
- Komarov E.V., Kaluzhnaja N.S., Cherezova L.B. Composition and structure of Coleoptera communities (Coleoptera) as an indicator of the state of steppe ecosystems in the South-East of the European part of Russia // «Stepi Severnoj Evrazii: strategija sohraneniya prirodnogo raznoobrazija i stepnogo prirodopol'zovanija v XXI veke»: materialy mezhdunarodnogo simpoziuma. 2000. P. 189–190 (in Russian).
11. Комаров Е.В., Комарова О.П. Оптимизация комплексов полезной энтомофауны в орошаемых агроландшафтах Волго-Донского междуречья // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=25990> (дата обращения: 21.08.2020).
- Komarov E.V., Komarova O.P. Optimization of useful entomofauna complexes in the irrigated agrolandscapes of Volga-Don interfluvium // *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*. 2016. № 6. [Electronic resource]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=25990> (date of access: 21.08.2020) (in Russian).
12. Прокопчук А.Е., Добрынин Н.Д. Роль минеральных удобрений в регуляции численности вредной энтомофауны на семенных посевах многолетних бобовых трав // Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 95. С. 215–231. [Электронный ресурс]. URL: <https://rus.neicon.ru/xmlui/handle/123456789/17258> (дата обращения: 21.08.2020).
- Prokopchuk A.E., Dobrynin N.D. The role of mineral fertilizers in the regulation of the number of harmful entomofauna in the seed crops of perennial legumes // *Politematicheskij setevoj elektronnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2014. № 95. P. 215–231. [Electronic resource]. URL: <https://rus.neicon.ru/xmlui/handle/123456789/17258> (date of access: 21.08.2020) (in Russian).
13. Прокопчук А.Е. Энтомофаги вредителей многолетних бобовых трав и регуляция их численности // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2013. № 4 (39). С. 37–42.
- Prokopchuk A.E. Entomophagous of pests of perennial leguminous grasses and regulation of their numbers // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2013. № 4 (39). P. 37–42 (in Russian).
14. Писаренко П.В., Пономаренко С.В. Оптимизация фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в органическом земледелии // Вестник Курганской ГСХА. 2014. № 3 (11). С. 40–44.
- Pisarenko P.V., Ponomarenko S.V. Optimization of the phytosanitary condition of agricultural crops in organic farming // *Vestnik Kurganskoy GSXA*. 2014. № 3 (11). P. 40–44 (in Russian).
15. Витон П.Г. Воздействие различных систем удобрения на динамику численности комплекса педогеобионтов // Агрехимия. 2016. № 9. С. 70–77.
- Viton P.G. Effect of various fertilizer systems on the dynamics of the pedogeobiont complex // *Agrohimiya*. 2016. № 9. P. 70–77 (in Russian).

УДК 630*2:631.962.3/4:631.963.3

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ВИДОВ И ФОРМ РОДА *ROBINIA* L. ДЛЯ ЛЕСОЗАЩИТНЫХ И ОЗЕЛЕНИТЕЛЬНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Лазарев С.Е., Семенютина А.В.

ФНЦ агроэкологии РАН «Федеральный научный центр агроэкологии,
комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»,
Волгоград, e-mail: hortus@yandex.ru, doksemenutina@mail.ru

Родовой комплекс *Robinia* представляет большой интерес для мобилизации генетических ресурсов в лесозащитные и озеленительные насаждения сухостепных и полупустынных районов Российской Федерации. В настоящее время широкое распространение в озеленении и лесомелиорации на юге страны получил только один вид робинии – *Robinia pseudoacacia* L. Исследования, проведенные на базе кластерных дендрологических коллекций ФНЦ агроэкологии РАН (кадастр. № 34:34:000000:122, 34:34:060061:10; кадастр. № 34:36:0000:14:0178), показали, что в настоящее время род *Robinia* в условиях Волгоградской области имеет следующий таксономический состав: *R. pseudoacacia* L.; *R. pseudoacacia* f. *umbraculifera* (DC) Rehd.; *R. pseudoacacia* f. *pyramidalis* (Pepin) Rehd.; *R. pseudoacacia* ф. *мачтовая*; *R. pseudoacacia* ф. *морозоустойчивая*; *R. pseudoacacia* св. *Комета*; *R. pseudoacacia* x *R. neomexicana*; *R. neomexicana* var. *rusbyi*; *R. neomexicana* var. *neomexicana*; *R. neomexicana* ф. *бледно-розовая*; *R. neomexicana* ф. *бледно-фиолетовая* и *R. viscosa* var. *hartwegii* (Koehne) Ashe. Установлено, что большинство зарегистрированных видов, разновидностей и форм в сухостепных и полупустынных районах Волгоградской области имеют хорошую зимостойкость, высокую засухоустойчивость и жизнеспособность. Для Ергенинско-Сарпинского полупустынного района рекомендованы все исследуемые виды и формы рода *Robinia*. Для Волго-Уральского сухостепного района рекомендуются все разновидности и формы *R. neomexicana*, а также гибридные формы *R. pseudoacacia* x *R. neomexicana*. Для полезного лесоразведения рекомендуются виды и формы с высокими темпами роста – *R. pseudoacacia* и ее межвидовые гибриды с *R. neomexicana*. Для создания овражно-балочных насаждений возможно также использование *R. neomexicana* и *R. pseudoacacia* x *R. neomexicana*. Для озеленительных насаждений наиболее перспективным оказался *R. viscosa* var. *hartwegii* (Koehne) Ashe, имеющий самый продолжительный период цветения.

Ключевые слова: Робиния псевдоакация, Р. новомексиканская, Р. клейкая, генофонд, биоразнообразие, таксационные показатели, защитное лесоразведение, перспективный ассортимент, приемы озеленения, агролесомелиоративные районы

PROSPECTS OF SPECIES AND FORMS OF THE GENUS *ROBINIA* L. FOR FOREST PROTECTION AND LANDSCAPING

Lazarev S.E., Semenyutina A.V.

Federal scientific center of agro-ecology, integrated land reclamation and protective afforestation
of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, e-mail: hortus@yandex.ru, doksemenutina@mail.ru

The *Robinia* generic complex is of great interest for the mobilization of genetic resources for forest protection and landscaping in dry-steppe and semi-desert areas of the Volgograd region. Currently, only one species of *Robinia* – *Robinia pseudoacacia* L. – is widely distributed in landscaping and forest reclamation in the South of the country. Research conducted on the basis of cluster dendrological collections of the Federal research CENTER of Agroecology of the Russian Academy of Sciences (cadastre. № 34:34:000000:122, 34:34:060061:10; inventory. № 34:36:0000:14:0178), we have shown that currently the genus *Robinia* in the conditions of the Volgograd region has the following taxonomic composition: *R. pseudoacacia* L.; *R. pseudoacacia* f. *umbraculifera* (DC) Rehd.; *R. pseudoacacia* f. *pyramidalis* (Pepin) Rehd.; *R. pseudoacacia* f. *mast*; *R. pseudoacacia* f. *hardy*; *R. pseudoacacia* св. *Kometa* и *R. pseudoacacia* x *R. neomexicana*; *R. neomexicana* var. *rusbyi*; *R. neomexicana* var. *neomexicana*; *R. neomexicana* f. *pale pink*; *R. neomexicana* f. *pale purple* и *R. viscosa* var. *hartwegii* (Koehne) Ashe. It is established that the majority of registered species, varieties and forms in dry-steppe and semi-desert areas of the Volgograd region have good winter hardiness, high drought resistance and vitality. For South Eргенинский-Sarpinskiy semi-desert area, the study recommended all types and forms of the genus *Robinia*. All varieties and forms of *R. neomexicana*, as well as hybrid forms of *R. pseudoacacia* and *R. neomexicana* are recommended for the North-Eastern – Volga-Ural dry-steppe region. For protective afforestation, we recommend species and forms with high growth rates – *R. pseudoacacia* and its interspecific hybrids with *R. neomexicana*. It is also possible to use *R. neomexicana* and *R. pseudoacacia* x *R. neomexicana* to create gully-beam plantings. For landscaping, the most promising was *R. viscosa* var. *hartwegii* (Koehne) Ashe has the longest flowering period.

Keywords: *Robinia pseudoacacia*, *R. neomexicana*, *R. viscosa*, gene pool, biodiversity, tax indicators, protective afforestation, perspective assortment, gardening techniques, agroforestry areas

В соответствии с последней таксономической обработкой североамериканских исследователей [1; 2] род *Robinia* L. включает четыре вида (*R. pseudoacacia* L.; *R. neomexicana* A. Gray; *R. viscosa* Vent.;

R. hispida L.), восемь разновидностей и несколько межвидовых гибридов. Кроме этого, в декоративном садоводстве используются разнообразные формы и сорта различных видов этого рода. В отечественной

литературе выделяют также *R. luxurians* (Dieck) S.K. Schneid. [3; 4], отличающуюся от *R. neomexicana* количеством листочков сложного листа и темпами роста.

Разногласия в таксономии вызваны большим количеством клональных линий, формирование которых происходит благодаря склонности многих видов этого рода к апомиксису [5]. Кроме этого, большинство видов довольно легко образуют в условиях интродукции межвидовые гибриды [6], идентификация таксономической принадлежности которых также вызывает значительные трудности.

Все виды рода *Robinia* происходят из Северной Америки. Они весьма засухоустойчивы, декоративны и отличаются высокой жизнеспособностью в условиях интродукции. К сожалению, в настоящее время широкое распространение в защитном лесоразведении юга Российской Федерации получил только один вид – *R. pseudoacacia* [7].

В коллекционных фондах ФНЦ агроэкологии РАН род *Robinia* L. представлен крупными неоднородными интродукционными популяциями, имеющими разную таксономическую принадлежность. Мобилизационный резерв этих популяций может значительно повысить хозяйственную ценность и биологическую устойчивость робиниевых насаждений в сложных лесорастительных условиях Волгоградской области. В связи с этим актуальность темы исследований заключается в необходимости научного анализа и оценки перспективности различных видов, разновидностей, форм и сортов рода *Robinia* L. для обогащения дендрофлоры лесозащитных и озеленительных насаждений в сухостепных и полупустынных районах Волгоградской области.

Цель исследования: уточнить таксономическую принадлежность и определить перспективность использования различных видов, разновидностей, форм и сортов рода *Robinia* в защитном лесоразведении и озеленении населенных пунктов сухостепных и полупустынных районов Волгоградской области.

Материалы и методы исследования

Объект исследований – виды, разновидности и формы рода *Robinia* L., произрастающие в кластерных дендрологических коллекциях ФНЦ агроэкологии РАН (кадастр. № 34:34:000000:122, 34:34:060061:10; кадастр. № 34:36:0000:14:0178), в объектах озеленения населенных пунктов Волгоградской области и в защитных лесонасаждениях.

Исследования проводились на протяжении трех лет с 2017 по 2020 г. Обследование насаждений в целях таксономической идентификации проводилось маршрутно-экспедиционным методом. Обследованию подлежали озеленительные и лесозащитные насаждения различных районов Волгоградской области и города Волгограда. Номенклатура зарегистрированных видов, разновидностей и форм растений выверялась по системе, предложенной Peabody F.J. [1].

Для измерения таксационных показателей были определены одновозрастные интродукционные популяции: 48.478303°N 44.542255°E (Красноармейский район, объект озеленения); 48.714435°N 44.522379°E (Центральный район, объект озеленения); 48.657598°N 44.438422°E (Советский район, объект озеленения); 48.641656°N 44.431266°E (Советский район, объект озеленения); 48.631616°N 44.423020°E (Советский район, питомник древесных растений ФНЦ агроэкологии РАН); 48.617162°N 44.373890°E (Кировский район, коллекционные фонды ФНЦ агроэкологии РАН); и города Волжского: 48.617162°N 44.373890°E (объект озеленения). Таксационные показатели насаждений определялись методом массовых наблюдений с использованием среднеарифметических величин. Общее количество исследуемых деревьев 1450 шт. Для таксационной характеристики жизненной формы и общего габитуса растений авторами предложен индекс многоствольности – среднее количество стволов на одно растение в выборочной совокупности.

Оценка перспективности изучаемых видов, разновидностей и форм проводилась по методике ГНУ ВНИАЛМИ [8]. Для анализа биологической устойчивости (зимостойкость, засухоустойчивость, репродуктивная способность, жизнеспособность) использовались данные собственных наблюдений (2017–2020 гг.), а также данные многолетних визуальных наблюдений, проведенных на базе кластерных дендрологических коллекций ФНЦ агроэкологии РАН [9]. Математическая обработка результатов осуществлялась в прикладной программе MS Excel с определением средних значений и стандартного отклонения (σ) для характеристики рассеивания показателей тех или иных признаков.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследований показали, что в настоящее время генофонд рода *Robinia* в сухостепных и полупустынных райо-

нах Волгоградской области включает один белоцветковый вид – *R. pseudoacacia* L. и два розовоцветковых – *R. neomexicana* A. Gray и *R. viscosa* Vent. *R. neomexicana* представлена типичной разновидностью – *R. neomexicana* var. *neomexicana* и разновидностью – *R. neomexicana* var. *rusbyi*. *R. viscosa* представлена разновидностью *R. viscosa* var. *hartwegii* (Koehne) Ashe. Кроме этого, выделены цветковые формы *R. neomexicana* с бледно-розовой и бледно-фиолетовой окраской цветков [10]. Зарегистрированы также межвидовые гибриды *R. pseudoacacia* × *R. neomexicana*, с белым венчиком и розовой чашечкой, строение которой полностью соответствует видовым характеристикам *R. neomexicana*. С *R. neomexicana* данные гибриды также сближают особенности фенологического развития. Изучение строения вегетативных органов *R. neomexicana* показало, что варьирование количества листочков сложного листа находится в пределах фенотипической изменчивости данного вида. Эта особенность является адаптацией к условиям произрастания и не может использоваться для выделения вида – *R. luxurians* (Dieck) S.K. Schneid. Кроме этого, в коллекционных фондах ФНЦ агроэкологии РАН и объектах озеленения населенных пунктов Волгоградской области встречаются декоративные формы *R. pseudoacacia*: f. *umbraculifera* (DC) Rehd. и *R. pseudoacacia* f. *pyramidalis* (Pepin) Rehd. В результате аналитической селекции сотрудниками ФНЦ агроэкологии РАН также были отобраны перспективные формы *R. pseudoacacia*: мачтовая, морозоустойчивая и пирамидальная. По результатам сортоиспытаний, последней форме был присвоен статус сорта «Комета» [4].

Мобилизация генетических ресурсов рода *Robinia* на базе кластерных дендрологических коллекций ВНИАЛМИ (ныне ФНЦ агроэкологии РАН) началась в 70-х годах прошлого столетия. К настоящему времени в коллекциях сформировались крупные самовоспроизводящиеся популяции второго-третьего поколения в возрасте около 20 лет (табл. 1). Образцы видов и форм, мобилизованные на этапе первичного интродукционного испытания, до настоящего времени не сохранились, так как средняя продолжительность жизни робиниевых насаждений в сложных лесорастительных условиях сухостепных и полупустынных районов Волгоградской области составляет от 20 до 50 лет. Самые старые экземпляры *R. pseudoacacia* (более 50 лет) сохранились

только в объектах озеленения с оптимальным гидрологическим режимом.

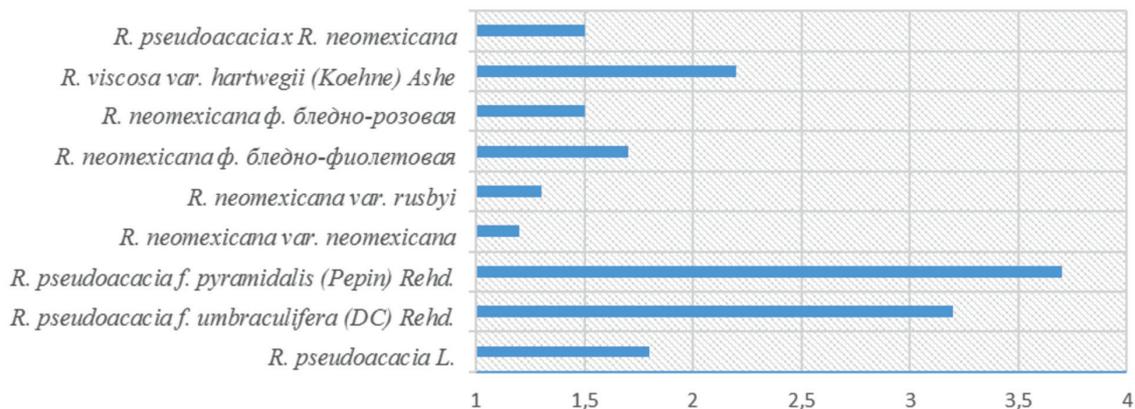
Темпы роста и максимальная высота насаждений также находятся в прямой зависимости от условий выращивания. Так, на семенных плантациях ФНЦ агроэкологии РАН на водораздельной территории в возрасте 20 лет *R. pseudoacacia* достигает высоты 8–9 метров, тогда как на нижних террасах б. Григорова к этому возрасту растения достигают высоты 10–11 метров.

Все изучаемые виды имеют хорошие показатели зимостойкости (рисунок). Исключение составляют только декоративные формы: *R. pseudoacacia* f. *umbraculifera* (DC) Rehd. и *R. pseudoacacia* f. *pyramidalis* (Pepin) Rehd. Однолетние побеги этих растений подмерзают ежегодно. В суровые зимы может повреждаться более половины длины однолетнего прироста и даже двулетние побеги. В 2006 г. (абсолютный минимум -37°C) насаждения *R. pseudoacacia* f. *umbraculifera* (DC) в коллекциях ФНЦ агроэкологии РАН полностью погибли. В 2006 г. также наблюдалось последнее повреждение многолетних побегов у типичных представителей *R. pseudoacacia* L. и *R. viscosa* var. *hartwegii* (Koehne) Ashe. Меньше повреждаются в суровые зимы побеги *R. neomexicana*. Более морозостойкими в сравнении с *R. pseudoacacia* оказались межвидовые гибриды *R. pseudoacacia* × *R. neomexicana*. Данные формы, как и *R. neomexicana*, позже начинают и раньше заканчивают вегетацию, что несколько повышает их зимостойкость. Низкая степень зимостойкости декоративных форм *R. pseudoacacia* f. *umbraculifera* (DC) Rehd. и *R. pseudoacacia* f. *pyramidalis* (Pepin) Rehd. объясняется тем, что их размножение в культуре происходит исключительно вегетативным способом, что не позволяет им сформировать генотипические адаптации к пониженным температурам в процессе интродукции.

Оценка степени засухоустойчивости по данным многолетних визуальных наблюдений показала, что все исследуемые виды слабо реагируют на жесткие засушливые условия сухой степи и полупустыни. Во время продолжительных летних засух тургор листьев, всех исследуемых видов может незначительно снижаться, у *R. neomexicana* и ее форм может также наблюдаться частичное пожелтение листовых пластинок, однако данные процессы практически не влияют на прирост побегов в данный или следующий за ним год. По шестибальной шкале засухоустойчивость исследуемых видов составляет от 1 до 1,6 балла (табл. 2).

Таблица 1
Таксационные показатели насаждений различных видов и форм рода *Robinia L.* в условиях Волгоградской области

Насаждение	Тип посадок, кол-во	Возраст (лет)	Высота (м)	Диаметр (см)	Индекс многоствольности	Проекция кроны (м)
<i>Robinia neotexicana</i> var. <i>neotexicana</i> Коллекционные фонды ФНЦ агроэкологии РАН, нижняя терраса б. Григорова (г. Волгоград, 48.631616°N 44.423020°E)	массив	~20	7,20 σ 0,35	5,85 σ 2,26	2,33 σ 0,52	3,67 x 4,07 σ 0,83-1,01
<i>Robinia neotexicana</i> var. <i>neotexicana</i> Противорозионные и лесозащитные насаждения территории ВОЛГУ, средняя часть склона р. Волга (г. Волгоград, 48.641656°N 44.431266°E)	многорядная	~20	5,93 σ 0,28	5,71 σ 1,86	2,8 σ 0,84	4,04 x 4,72 σ 0,55-0,41
<i>Robinia neotexicana</i> ф. бледно-фиолетовая Коллекционные фонды ФНЦ агроэкологии РАН, нижняя терраса б. Григорова (г. Волгоград, 48.657598°N 44.438422°E)	групповая	~20	7,51 σ 0,58	7,0 σ 2,75	2,5 σ 0,52	4,54 x 5,48 σ 1,46-1,53
<i>Robinia neotexicana</i> ф. бледно-розовая Коллекционные фонды ФНЦ агроэкологии РАН, нижняя терраса б. Григорова (г. Волгоград, 48.657598°N 44.438422°E)	групповая	~20	5,42 σ 0,38	5,52 σ 2,05	2,4 σ 0,32	3,92 x 5,35 σ 0,42-0,71
<i>Robinia neotexicana</i> var. <i>rusbyi</i> Озеленительные насаждения ограниченного и общего пользования (г. Волгоград, 48.657598°N 44.438422°E)	групповая	~20	7,85 σ 0,75	7,52 σ 1,94	1,9 σ 0,24	4,75 x 5,72 σ 0,45-0,63
<i>Robinia pseudoacacia</i> Коллекционные фонды ФНЦ агроэкологии РАН, нижняя терраса б. Григорова (г. Волгоград, 48.657598°N 44.438422°E)	групповая	~20	10,85 σ 0,69	8,29 σ 3,99	1,75 σ 1,83	5,35 x 6,15 σ 0,53-0,83
<i>Robinia pseudoacacia</i> Коллекционные фонды ФНЦ агроэкологии РАН, водораздельная территория р. Отрада, б. Григорова и б. Хохлатская (г. Волгоград, 48.617162°N 44.373890°E)	многорядная	~20	8,50 σ 0,37	9,25 σ 5,05	4,0 σ 1,83	5,8 x 5,0 σ 1,14-1,19
<i>Robinia pseudoacacia</i> Придорожная защитная полоса, нижняя терраса Ергенинской возвышенности (г. Волгоград, 48.478303°N 44.542255°E)	рядовая	~50	15,48 σ 1,02	48,14 σ 4,74	1,17 σ 0,41	7,0 x 7,4 σ 2,08-1,92
<i>Robinia pseudoacacia</i> f. <i>pyramidalis</i> Коллекционные фонды ФНЦ агроэкологии РАН, водораздельная территория р. Отрада, б. Григорова и б. Хохлатская (г. Волгоград, 48.617162°N 44.373890°E)	рядовая	~20	9,04 σ 0,72	6,9 σ 3,32	5,2 σ 1,54	2,4 x 2,6 σ 1,09-1,72
<i>Robinia pseudoacacia</i> f. <i>imbraculifera</i> Насаждения общего пользования (Волгоградская область, г. Волжский, 48.789792°N 44.767318°E)	рядовая	~30	5,29 σ 0,19	34,8 σ 3,56	1 σ 0,00	4,28 x 5,32 σ 0,76-1,23
<i>Robinia viscosa</i> var. <i>hartwegii</i> Насаждения ограниченного пользования территории жилой застройки (г. Волгоград, 48.714435°N 44.522379°E)	групповая	~20	5,25 σ 1,13	14,4 σ 2,51	1 σ 0,00	3,52 x 4,28 σ 0,58-0,59
<i>Robinia pseudoacacia</i> x <i>Robinia neotexicana</i> Коллекционные фонды ФНЦ агроэкологии РАН, нижняя терраса б. Григорова (г. Волгоград, 48.657598°N 44.438422°E)	групповая	~20	9,25 σ 1,15	7,91 σ 2,45	1,8 σ 1,52	5,15 x 6,05 σ 0,83-1,45



Показатели зимостойкости представителей рода *Robinia* L. по данным многолетних визуальных наблюдений

Таблица 2

Показатели зимостойкости, засухоустойчивости, цветения, плодоношения и жизненности по данным визуальных наблюдений

Название растения	Засухоустойчивость	Цветение	Плодоношение	Жизненность
<i>R. pseudoacacia</i> L.	1,1	4,7	4,6	1,2
<i>R. pseudoacacia</i> f. <i>umbraculifera</i> (DC) Rehd.	1,2	0	0	2,5
<i>R. pseudoacacia</i> f. <i>pyramidalis</i> (Pepin) Rehd.	1,2	2,2	1,1	2,7
<i>R. neomexicana</i> var. <i>neomexicana</i>	1,5	4,5	4,2	1,3
<i>R. neomexicana</i> var. <i>rusbyi</i>	1,6	4,6	4,3	1,3
<i>R. neomexicana</i> ф. бледно-фиолетовая	1,3	3,7	3,5	1,4
<i>R. neomexicana</i> ф. бледно-розовая	1,4	3,9	3,7	1,5
<i>R. viscosa</i> var. <i>hartwegii</i> (Koehne) Ashe	1,3	4,9	1,7	1,5
<i>R. pseudoacacia</i> x <i>R. neomexicana</i>	1,1	4,5	4,5	1,2

Исследуемые виды, разновидности и формы имеют разный генеративный потенциал. *R. pseudoacacia* f. *umbraculifera* (DC) Rehd., как полностью стерильная форма, вообще не способна к цветению и плодоношению (табл. 2). Единичные соцветия и плоды отмечаются также у *R. pseudoacacia* f. *pyramidalis* (Pepin) Rehd., что также объясняется особенностью данной формы. Самым обильным цветением отличаются *R. pseudoacacia* и *R. viscosa* var. *hartwegii* (Koehne) Ashe. При этом необходимо отметить, что *R. viscosa* var. *hartwegii* (Koehne) Ashe имеет также самый продолжительный период цветения. Данный вид в условиях юга России цветет с мая по октябрь с одним-двумя недельными перерывами. Самые высокие показатели плодородности и семенной продуктивности имеет *R. pseudoacacia* L. и ее межвидовые гибриды с *R. neomexicana*. Несмотря на самые высокие показатели

цветения, слабое плодоношение наблюдается у *R. viscosa* var. *hartwegii* (Koehne) Ashe (табл. 2).

Показателем наивысшей степени акклиматизации в новых условиях культивирования является способность к натурализации. Все исследуемые виды, разновидности и формы (исключая *R. pseudoacacia*: f. *umbraculifera* (DC) Rehd. и f. *pyramidalis* (Pepin) Rehd.) формируют в сухостепных и полупустынных районах Волгоградской области самовоспроизводящиеся популяции. При этом некоторые из них (*R. pseudoacacia* и *R. neomexicana*) способны к самостоятельному расселению в пойменных и барачных сообществах [11]. Отсутствие натурализовавшихся популяций других видов и форм, вероятно, связано с территориальной изоляцией от естественных лесных экосистем и относительно низкой плодородностью [12].

Учитывая все перечисленные особенности, изучаемые виды, разновидности и формы рода *Robinia* можно рекомендовать для лесозащитных и озеленительных насаждений различного типа (табл. 3). Для полезащитных насаждений наиболее перспективны представители с высокими темпами роста. К ним относится *R. pseudoacacia* L. и межвидовые гибриды *R. pseudoacacia* x *R. neomexicana*. Для овражно-балочных насаждений можно рекомендовать также *R. neomexicana* типичной разновидности и *R. neomexicana* var. *rusbyi*.

В зеленом строительстве изучаемые виды, разновидности и формы перспективны при создании орошаемых и неорошаемых объектов озеленения общего, ограниченного использования и специального назначения. Применение теплолюбивых декоративных форм *R. pseudoacacia*: f. *umbraculifera* (DC) Rehd. и f. *pyramidalis* (Pepin) Rehd. возможно только в объектах ограниченного использования. Для посадки

данных растений необходимо подбирать закрытые участки с мягким микроклиматом и южной экспозицией. Одним из самых высокодекоративных видов является *R. viscosa* var. *hartwegii* (Koehne) Ashe. Данный вид имеет продолжительное цветение с мая по октябрь и может с успехом использоваться даже в солитерных посадках (табл. 3).

В соответствии с лесомелиоративным районированием [13] в северных степных и сухостепных районах Волгоградской области целесообразно рекомендовать межвидовые гибриды *R. pseudoacacia* x *R. neomexicana*, отличающиеся более высокой морозостойкостью (табл. 4). Использование *R. viscosa* var. *hartwegii* (Koehne) Ashe в Волго-Донском степном и Волго-Уральском сухостепном районах возможно только на защищенных участках южных экспозиций. Теплолюбивые формы *R. pseudoacacia*: f. *umbraculifera* (DC) Rehd. и f. *pyramidalis* (Pepin) Rehd. можно рекомендовать только для южного полупустынного Ергенинско-Сарпинского района.

Таблица 3

Ассортимент видов и форм *Robinia* для различных типов защитного лесоразведения и озеленительных насаждений

Название растения	Лесозащитные		Озеленительные			
	полезащитные	овражно-балочные	массивы	группы	солитеры	аллеи
<i>R. pseudoacacia</i> L.	*	*	*	*		*
<i>R. pseudoacacia</i> f. <i>umbraculifera</i> (DC) Rehd.						*
<i>R. pseudoacacia</i> f. <i>pyramidalis</i> (Pepin) Rehd.						*
<i>R. neomexicana</i> var. <i>neomexicana</i>		*	*	*		
<i>R. neomexicana</i> var. <i>rusbyi</i>		*	*	*		
<i>R. neomexicana</i> ф. бледно-фиолетовая				*		
<i>R. neomexicana</i> ф. бледно-розовая				*		
<i>R. viscosa</i> var. <i>hartwegii</i> (Koehne) Ashe				*	*	
<i>R. pseudoacacia</i> x <i>R. neomexicana</i>	*	*		*		

Таблица 4

Ассортимент видов, разновидностей и форм рода *Robinia* для различных агролесомелиоративных районов

Название растения	Волго-Донской степной	Волго-Донской сухостепной	Волго-Уральский сухостепной	Ергенинско-Сарпинский полупустынный	Волго-Уральский полупустынный
<i>R. pseudoacacia</i> L.		*		*	*
<i>R. pseudoacacia</i> f. <i>umbraculifera</i> (DC) Rehd.				*	
<i>R. pseudoacacia</i> f. <i>pyramidalis</i> (Pepin) Rehd.				*	
<i>R. neomexicana</i> var. <i>neomexicana</i>	*	*	*	*	*
<i>R. neomexicana</i> var. <i>rusbyi</i>	*	*	*	*	*
<i>R. neomexicana</i> ф. бледно-фиолетовая	*	*	*	*	*
<i>R. neomexicana</i> ф. бледно-розовая	*	*	*	*	*
<i>R. viscosa</i> var. <i>hartwegii</i> (Koehne) Ashe		*		*	*
<i>R. pseudoacacia</i> x <i>R. neomexicana</i>	*	*	*	*	*

Заключение

В результате проведенных исследований было установлено, что все изучаемые виды, разновидности и формы имеют высокие показатели жизнеспособности в сложных лесорастительных условиях сухой степи и полупустыни. Сравнительная характеристика показала, что более высокие показатели зимостойкости имеет *R. neomexicana*, ее формы и гибриды с *R. pseudoacacia*. Несмотря на общий высокий показатель засухоустойчивости для всех изучаемых видов, *R. pseudoacacia* и ее гибридные формы несколько превосходят по данному показателю других представителей. Самой низкой способностью к генеративному размножению обладает *R. viscosa*, при этом данный вид является самым декоративным по интенсивности и продолжительности цветения. В озеленительных насаждениях данный вид перспективно использовать в качестве солитера, тогда как остальные – возможно использовать при создании древесных массивов, декоративных групп и аллей. Большинство видов перспективны для всех сухостепных и полупустынных районов Волгоградской области. Исключение составляют только декоративные формы *R. pseudoacacia*: *f. umbraculifera* (DC) Rehd. и *f. pyramidalis* (Pepin) Rehd., использование которых возможно только в южном полупустынном Ергенинско-Сарпинском районе.

Список литературы / References

1. Peabody F.J. Revision of the genus *Robinia* (Leguminosae: Papilionoideae). Ph.D. Dissertation. Ames: Iowa State University, 1984. 155 p.
2. Pink-flowered locusts (*Robinia* L., Fabaceae) established in Poland. Yearbook of the Polish dendrological society. 2015. Vol. 63. P. 9–33.
3. Флора Нижнего Поволжья. Том 2. Часть 2. Раздельнолепестные двудольные цветковые растения (Crassulaceae – Cornaceae) / Отв. ред. Н.М. Решетникова; Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. 519 с.
4. Flora of the Lower Volga Region. Vol. 2. Part 2. Razdel'nolepestnyye dicotyledonous flowering plants (Crassulaceae-Cornaceae) / Ed. N.M. Reshetnikov; Main Botanical garden named after N.V. Tsitsina RAS. M.: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2018. 519 p. (in Russian).
4. Морозова Е.В., Иозус А.П., Крючков С.Н. Основные итоги селекции робинии лжеакация в Нижнем Поволжье // Успехи современного естествознания. 2018. № 12–2. С. 290–295.
- Morozova E.V., Iozus A.P., Kryuchkov S.N. Main results of selection of *Robinia lzheakatsii* in the Lower Volga region //

Advances in modern natural science. 2018. № 12–2. P. 290–295 (in Russian).

5. Виноградова Ю.К., Ткачева Е.В., Бринзда Я., Майоров С.Р., Островский Р.К биологии цветения чужеродных видов 2. *Robinia Pseudoacacia*, *R.×Ambigua*, *R. Neomexicana* // Российский журнал биологических инвазий. 2012 № 4. С. 10–26.
- Vinogradova Yu.K., Tkacheva E.V., Brinzda Ya., Mayorov S.R., Ostrovsky R. On a Flowering Patterns of Alien Species. 2. *Robinia Pseudoacacia*, *R.×Ambigua*, *R. Neomexicana* // Russian journal of biological invasions. 2012. № 4. P. 10–26 (in Russian).
6. Карпун Ю.Н. Субтропическая декоративная дендрология: справочник. СПб., 2010. 580 с.
- Karpun Yu.N. Subtropical decorative dendrology: handbook. SPb., 2010, 580 p. (in Russian).
7. Бабошко О.И., Богданова И.Б. Пути повышения устойчивости робиниевых насаждений в степи // Лесное хозяйство. 2011. № 5. С. 32–22.
- Baboshko O. I., Bogdanova I. B. Ways to increase the stability of robinium plantings in the steppe // Lesnoye khozyaystvo. 2011. № 5. P. 32–22 (in Russian).
8. Семенютина А.В., Долгих А.А., Хужахметова А.Ш., Зелень А.К., Данилина Д.В., Костюков С.М., Богданов А.В., Соломенцева А.С. Методические указания по семеноведению древесных интродуцентов в условиях засушливой зоны. М.: Россельхозакадемия, 2010. 56 с.
- Semenyutina A.V., Dolgikh A.A., Khuzhakhmetova A.Sh., Zelenyak A.K., Danilina D.V., Kostyukov S.M., Bogdanov A.V., Solomentseva A.S. Methodical instructions on seed science of tree introducers in the conditions of arid zone. M.: Rossel'khozakademiya, 2010. 56 p. (in Russian).
9. Хижняк Н.И., Семенютина А.В. Деревья и кустарники Волгоградского дендрария ВНИАЛМИ. Волгоград, 1984. 49 с.
- Khizhnyak N.I., Semenyutina A.V. Trees and shrubs of the Volgograd arboretum VNIALMI. Volgograd, 1984. 49 p. (in Russian).
10. Семенютина А.В., Лазарев С.Е. Диагностические признаки представителей рода *Robinia* L. по генеративным показателям в интродукционных популяциях // Наука. Мысль. 2019. Т. 9. № 2. С. 64–94. DOI: 10.25726/worldjournals.pro/WEJ.2019.2.4.
- Semenyutina A.V., Lazarev S. E. Diagnostic signs of representatives of the genus *Robinia* L. by generative indicators in introduced populations // Nauka. Mysl'. 2019. Vol. 9. № 2. P. 64–94 (in Russian).
11. Виноградова Ю.К., Сагалаев В.А., Ткачева Е.В. *Robinia neomexicana* Gray. – новый инвазивный вид флоры России // Вестник ТвГУ. 2013. № 13. С. 51–60.
- Vinogradova Yu.K., Sagalae V.A., Tkacheva E.V. *Robinia Neomexicana* A. Gray – The New Invasive Species of Russian's Flora // Vestnik TvGU. 2013. № 13. P. 51–60.
12. Семенютина А.В., Лазарев С.Е., Мельник К.А. Оценка репродуктивной способности представителей родовых комплексов и особенности их селекционного семеноведения в сухостепных условиях // World Ecology Journal. 2019. Т. 9. № 1. С. 1–23. DOI: 10.25726/NM.2019.66.65.001.
- Semenyutina A.V., Lazarev S.E., Melnik K.A. Evaluation of the reproductive ability of representatives of generic complexes and features of their breeding seed science in dry-steppe conditions // World Ecology Journal. 2019. Vol. 9. № 1. P. 1–23 (in Russian).
13. Агрорелсомелиорация / Под. Ред. А.Л. Иванова, К.Н. Кулика. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2006. 746 с.
- Agroforestry / Ed. By A.L. Ivanov, K.N. Kulik. Volgograd: VNIALMI, 2006. 746 p. (in Russian).

УДК 630*311:004.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ АВТОЛЕСОВОЗОВ ОТ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

¹Мохирев А.П., ²Рукомойников К.П., ¹Герасимова М.М., ¹Медведев С.О.

¹Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева – филиал в г. Лесосибирск, Лесосибирск, e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru;

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

Доступность лесных ресурсов является важнейшим фактором развития лесозаготовительной инфраструктуры. При ее определении рассчитывается максимально возможный объем вывозки древесины, зависящий от пропускной способности транспортных путей, на которую влияет множество производственных и природно-климатических факторов. Одним из параметров, позволяющих прогнозировать пропускную способность лесных дорог, является скорость движения автолесовоза. Она может выступать индикатором состояния дороги и использоваться в качестве критерия оптимальности при оптимизации лесотранспортных процессов при освоении лесных массивов. Данная статья посвящена исследованию зависимости этого показателя от природно-климатических факторов при движении на различных категориях лесовозных дорог (магистраль, ветка, ус) в различное время года. Объектом исследования являются автомобильные лесовозные дороги, находящиеся в интенсивно используемых лесозаготовительных районах Красноярского края. Для получения регрессионных уравнений выполнено планирование эксперимента. Найдены регрессионные модели, описывающие влияние величины уклона дороги и количества осадков на скорость автолесовоза. Указанные зависимости получены для различных категорий дорог и периодов года при движении в порожнем и грузовом направлениях. Все уравнения имеют достаточно высокую точность и являются статистически значимыми. Построенные зависимости проиллюстрированы графически. Полученные результаты могут быть использованы при планировании развития сети дорог на лесной территории, выборе способов, методов и объемов вывозки древесины. Данное исследование в целом представляет результаты, систематизирующие накопленные к настоящему времени знания по исследуемым вопросам, а также предлагает ряд новых подходов к оценке скорости лесовозных дорог.

Ключевые слова: скорость автолесовоза, величина уклона, количество осадков, регрессионная модель, климатические условия, лесовозная дорога

INVESTIGATION OF THE DEPENDENCE OF THE SPEED OF LOGGING TRUCKS ON NATURAL AND CLIMATIC FACTORS

¹Mokhirev A.P., ²Rukomoynikov K.P., ¹Gerasimova M.M., ¹Medvedev S.O.

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

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

The availability of forest resources is a major factor in the development of logging infrastructure. When determining it, the maximum possible volume of wood removal is calculated, depending on the capacity of transport routes, which is affected by a variety of production and climatic factors. One of the parameters that allows you to predict the capacity of forest roads is the speed of the logging truck. It can act as an indicator of the road condition and be used as an optimality criterion for optimizing forest transport processes in the development of woodlands. This article is devoted to the study of the dependence of this indicator on natural and climatic factors when driving on various categories of logging roads (highway, branch, us) at different times of the year. The object of research is automobile logging roads located in intensively used logging areas of the Krasnoyarsk territory. To obtain regression equations, the experiment was planned. Regression models were found that describe the influence of road slope and precipitation on the speed of a logging truck. These dependencies are obtained for different categories of roads and periods of the year when driving in empty and cargo directions. All equations have a fairly high accuracy and are statistically significant. The constructed dependencies are graphically illustrated. The results obtained can be used in planning the development of a road network in the forest area, selecting methods, methods and volumes of wood removal. This study generally presents results that systematize the knowledge accumulated to date on the issues under study, as well as offers a number of new approaches to assessing the speed of logging roads.

Keyword: logging truck speed, slope, precipitation, regression model, climate conditions, logging road

При определении доступности лесных ресурсов важным элементом является расчет максимально возможного объема вывозки древесины при определенных природно-климатических и производственных условиях.

Пропускная способность транспортных путей зависит от большого числа факторов:

дорожных условий (ширины проезжей части, продольного уклона, радиуса кривых в плане, расстояния видимости и др.), состава потока автомобилей, наличия средств регулирования, погодно-климатических условий, возможности маневрирования автомобилей по ширине проезжей части, психофизиологических особенностей во-

дителей и конструкции автомобилей [1; 2]. Анализируя представленную информацию, можно разделить факторы на управляемые, связанные с человеком (состояние дорожного покрытия, геометрические параметры дороги, пересечения и примыкания дорог) и неуправляемые природно-климатические факторы.

Чем выше категория дороги, интенсивность и скорость движения, тем менее ощутимо влияние природно-климатических факторов на режим движения. Из их числа наибольшее влияние имеют осадки разного вида, уклон транспортного пути, дальность видимости и скорость ветра. При этом на различных категориях лесовозных дорог (магистраль, ветка, ус) в различное время года они имеют разное значение.

Разработка математических зависимостей для расчета скорости лесовозного транспорта является актуальной задачей. На сегодняшний день опубликованы труды многих ученых, посвященные данному вопросу. В работах [3–5] приведены расчетные зависимости для определения скорости лесовозного автопоезда во всех режимах движения с учетом всех основных факторов, влияющих на показатели движения. Объектом исследований [6; 7] являются характеристики автомобильных дорог, по которым производится вывозка лесоматериалов. Авторы используют практические наблюдения за отдельными участками дороги для выявления закономерностей в изменении скоростных режимов движущихся транспортных средств. В работе [8] приведены математические зависимости, описывающие влияние климатических факторов на скорость разных групп лесовозов. Однако в данном исследовании не отражена зависимость от такого фактора, как рельеф местности, который оказывает значительное влияние на указанный показатель.

Целью данных исследований является нахождение зависимости скорости движения автолесовозов от таких природно-климатических факторов, как величина уклона транспортного пути и количество осадков при движении на различных категориях лесовозных дорог (магистраль, ветка, ус) в различное время года.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования выступили автомобильные лесовозные дороги, находящиеся в интенсивно используемых лесозаготовительных районах Красноярского края (Енисейский, Мотыгинский). В ходе исследова-

ния использованы данные о скорости движения автолесовозов при вывозке древесины с лесной территории на береговые нижние склады во время лесозаготовительного сезона 2019–2020 гг. Анализировались сведения о природно-климатических факторах за аналогичные периоды времени, находящиеся в архивных сведениях о погоде на электронном ресурсе gr5.ru по соответствующим метеорологическим постам (Енисейский, Мотыгинский).

Вследствие неоднородности природно-климатических и производственных условий в различные временные интервалы, а также возможности их классификации по наиболее близким характеристикам, весь лесозаготовительный процесс разделен на пять периодов [9]: зимний, зимне-весенний, весенний, летний, осенний. Однако зимне-весенний и осенний периоды приходится на распутицу, при которой вывозка не производится, поэтому они не анализировались.

Кроме климатических факторов, на скорость вывозки влияют и производственные. Наиболее значимые – тип автомобильной дороги (магистраль, ветка, ус) и направление движения (грузовое, порожнее). Для каждого из этих условий строится своя зависимость.

Для выявления зависимости скорости автолесовоза на магистрали от всех рассматриваемых факторов, а также межфакторной зависимости выполнено 75 наблюдений, заключающихся в измерениях скорости лесовоза на магистрали, величины уклона, количества осадков, дальности видимости, скорости ветра. Исследования проводились при прочих равных условиях: участок без поворотов более 300 м, анализируемый уклон ± 20 более 300 м. При этом достигается равномерная скорость без влияния данных факторов.

Для проведения эксперимента собрана информация, полученная из следующих ресурсов: сводный отчет перемещения (положения) автолесовоза по маршруту его движения, сгенерированный из ГЛОНАСС-источника в табличный редактор Microsoft Excel; Google-карты; программа Google Earth Pro; архив метеоданных в Красноярском крае с сайта расписания погоды gr5.ru.

Анализировались маршруты автолесовоза в грузовом и порожнем направлениях. Учитывались величина уклона, тип дороги, количество осадков, дальность видимости, скорость ветра и фиксировалась скорость лесовоза при соответствующих значениях факторов.

Для построения регрессионной зависимости скорости автолесовоза от рассмотренных факторов введены обозначения: y – исследуемый выходной параметр (скорость), факторы: x_1 – величина уклона, x_2 – количество осадков, x_3 – дальность видимости, x_4 – скорость ветра.

На основании полученных значений коэффициентов парной корреляции сделан вывод о существенной зависимости между факторами x_2 и x_3 , x_3 и x_4 (коэффициенты корреляции $r_{x_2x_3} = -0,67$, $r_{x_3x_4} = -0,68$) и слабом влиянии фактора x_4 на выходной параметр ($r_{yx_4} = -0,16$). Поэтому факторы x_3 и x_4 исключены из рассмотрения. Таким образом, для исследования зависимости скорости движения автолесовозов от природно-климатических факторов рассматриваются показатели: величина уклона дороги с учетом подъема или спуска и количество осадков.

Для сбора данных выполнено планирование пассивного эксперимента, в котором при различных условиях фиксировалась скорость движения автолесовоза.

В условиях каждого из опытов для трех типов дороги: магистрали, ветки, уса – выполнены в зимнем, весеннем и летнем периодах предварительно по 5 замеров скорости лесовоза, уклона дороги. Количество осадков получено на основании данных, приведенных на сайте gr5.ru. Результаты наблюдений для каждого опыта статистически обработаны: вычислены среднее значение выходного параметра, дисперсия, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации. На основании полученных результатов определено необходимое число наблюдений в каждом опыте при точности вычисления среднего значения выходного параметра, равной 5%.

Обработка статистических данных, полученных в соответствии с найденными объемами выборок, осуществлялась с применением системы Statistica. Моделирование осуществлялось методом наименьших квадратов, оценки параметров моделей регрессии определялись методом Левенберга-Марквардта.

Результаты исследования и их обсуждение

Регрессионные модели, отражающие зависимость скорости автолесовоза от величины уклона и количества осадков, для трех типов дорог (магистраль, ветка, ус) при движении в грузовом и порожнем направлениях представлены в таблице. Най-

денные значения коэффициента (индекса) детерминации (R^2) свидетельствуют о достаточно высокой точности полученных уравнений [10].

Проверка с помощью t -критерия Стьюдента гипотезы о статистической незначимости параметров уравнений позволила с вероятностью 95% сделать вывод о том, что они являются статистически значимыми.

Оценивая полученные зависимости, представленные графически (рис. 1–3), можно сделать следующие выводы. 1. Скорости лесовозов существенно снижаются при изменении величины уклона (как в большую, так и меньшую сторону) в зимний период. В порожнем направлении зависимость от осадков существенно выше. В то время как при наличии грузов в лесовозе зависимость от осадков сглаживается. 2. В весенний период влияние осадков на скорость лесовозов существенно выше. Данный факт обусловлен техническими и психологическими особенностями управления лесовозной техникой в сложных погодных условиях. Зависимость от уклона идентична зимнему периоду времени. Аналогично происходит и сглаживание влияния количества осадков в груженом варианте движения лесовозной техники.

Отличные модели от предыдущих характерны для летнего периода времени. В данном случае для магистрали и ветки скорость увеличивается с уменьшением величины уклона. При этом отрицательный уклон приводит к еще большему приросту скорости. Исключение составляет движение по усам, где малые скорости и качество дорог практически не позволяют увеличивать скорость при отрицательном уклоне, а сама скорость достаточно стабильна и неизменчива. Количество осадков при порожнем движении по магистралям и веткам, а также по магистралям в груженом варианте практически не оказывает влияния на скорость. При этом при движении по усам и в груженом состоянии по веткам влияние осадков на скорость существенно.

Полученные регрессионные модели могут быть использованы при имитационном моделировании технологического процесса вывозки древесины на нижний склад лесозаготовительных предприятий Красноярского края. При практическом применении данных зависимостей возможно оптимизировать технологический процесс работы лесозаготовительных машин в определенных природно-производственных условиях [11–13].

Регрессионные модели

№	Период	Тип дороги	Направление движения	Регрессионная модель	R ²
1	зимний	магистраль	порожнее	$y = 54,419 + 0,13x_1 - 1,408x_2 - 0,275x_1^2$	0,72
2			грузовое	$y = 40,807 - 0,351x_1 - 0,864x_2 - 0,186x_1^2$	0,74
3		ветка	порожнее	$y = 34,544 - 0,256x_1 - 1,318x_2 - 0,113x_1^2$	0,74
4			грузовое	$y = 24,814 - 0,227x_1 - 0,406x_2 - 0,128x_1^2$	0,77
5		ус	порожнее	$y = 22,036 - 0,301x_1 - 0,487x_2 - 0,078x_1^2$	0,75
6			грузовое	$y = 14,53 - 0,168x_1 - 0,142x_2 - 0,048x_1^2$	0,71
7	весенний	магистраль	порожнее	$y = 49,041 + 0,292x_1 - 1,758x_2 - 0,118x_1^2$	0,73
8			грузовое	$y = 39,101 + 0,663x_1 - 0,75x_2 - 0,231x_1^2$	0,8
9		ветка	порожнее	$y = 43,085 + 0,301x_1 - 1,101x_2 - 0,166x_1^2$	0,81
10			грузовое	$y = 34,965 + 0,713x_1 - 1,254x_2 - 0,165x_1^2$	0,9
11		ус	порожнее	$y = 19,28 - 0,028x_1 - 0,984x_2 - 0,048x_1^2$	0,73
12			грузовое	$y = 13,851 - 0,058x_1 - 0,633x_2 - 0,04x_1^2$	0,72
13	летний	магистраль	порожнее	$y = 42,572 - 1,479x_1 + 0,361x_2 - 0,035x_1^2$	0,81
14			грузовое	$y = 43,535 - 1,566x_1 + 0,331x_2 - 0,147x_1^2$	0,84
15		ветка	порожнее	$y = 38,31 - 1,566x_1 - 1,703x_2 - 0,033x_1^2$	0,85
16			грузовое	$y = 37,008 - 0,934x_1 - 4,235x_2 - 0,031x_1^2$	0,71
17		ус	порожнее	$y = 26,04 - 0,092x_1 - 2,567x_2 - 0,068x_1^2$	0,7
18			грузовое	$y = 19,955 - 0,177x_1 - 2,958x_2 - 0,023x_1^2$	0,85

Заключение

Данное исследование в целом представляет результаты, систематизирующие накопленные к настоящему времени знания по исследуемым вопросам, а также предлагает ряд новых подходов к оценке скорости лесовозных дорог.

Получены зависимости скорости лесовозной техники от количества осадков и величины уклона местности. Показано,

что как осадки, так и рельеф в значительной мере сказываются на скорости техники, а значит эффективности вывозки древесины с лесной территории. Получены результаты для порожнего и грузового направлений, а также для магистралей, веток и усов. Такое разнообразие результатов позволяет получить целостную картину движения лесовозной техники на всем лесозаготовительном периоде и формировать планы деятельности предприятий.

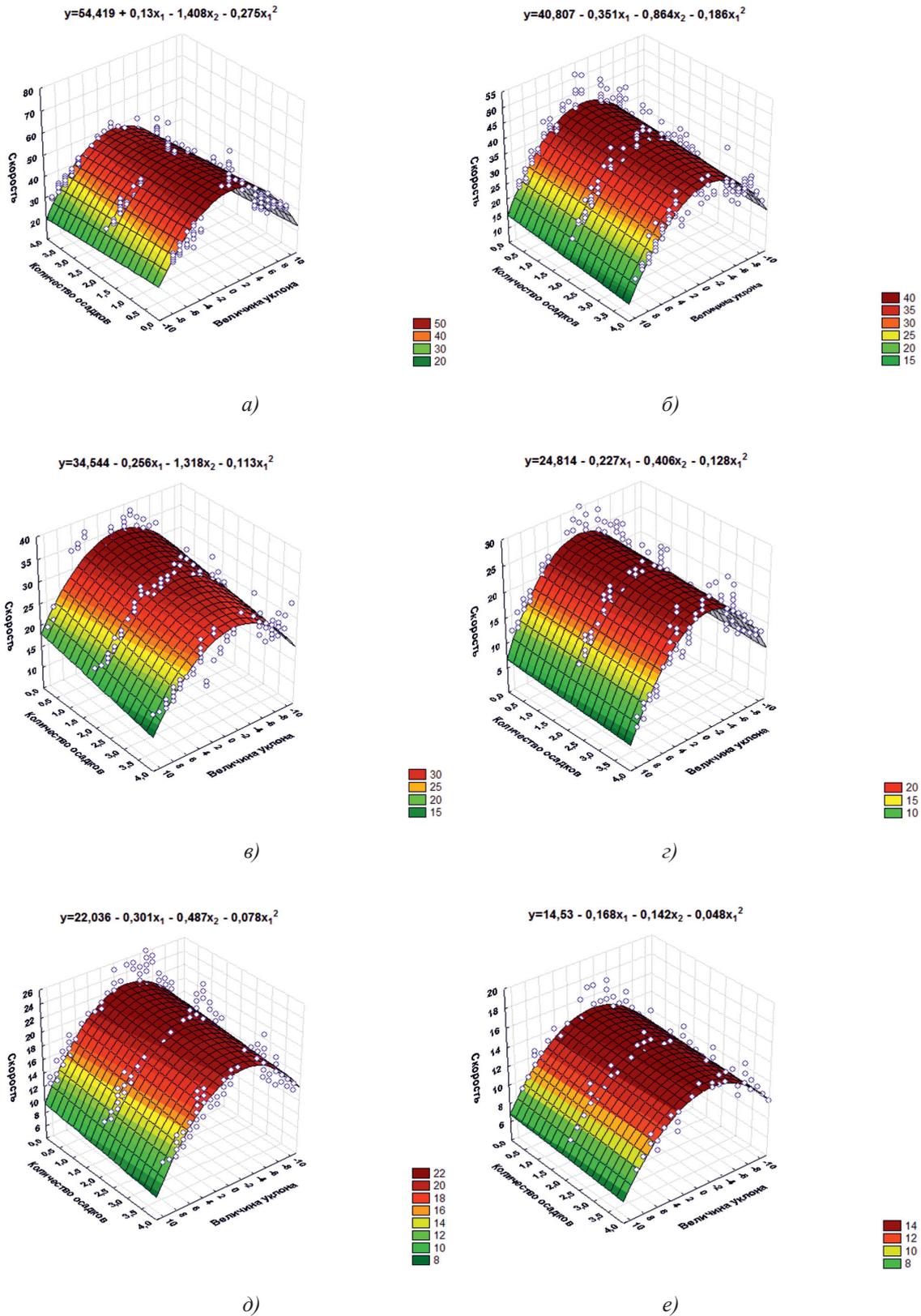


Рис. 1. Зависимость скорости лесовоза от величины уклона и количества осадков в зимнем периоде: а – на магистрали в порожнем направлении; б – на магистрали в грузовом направлении; в – на ветке в порожнем направлении; г – на ветке в грузовом направлении; д – на усах в порожнем направлении; е – на усах в грузовом направлении

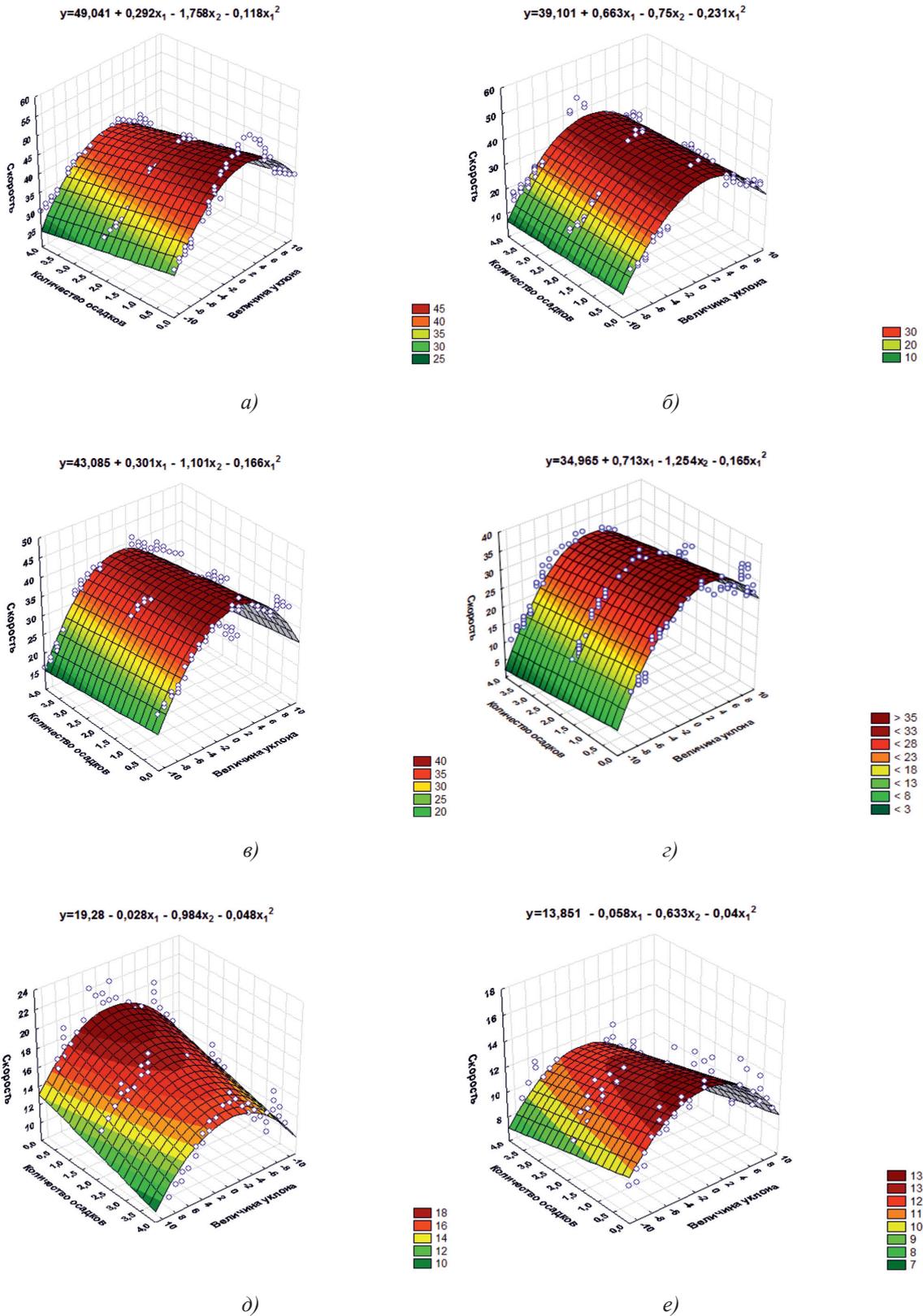


Рис. 2. Зависимость скорости лесовоза от величины уклона и количества осадков в весеннем периоде: а – на магистрали в порожнем направлении; б – на магистрали в грузовом направлении; в – на ветке в порожнем направлении; г – на ветке в грузовом направлении; д – на усах в порожнем направлении; е – на усах в грузовом направлении

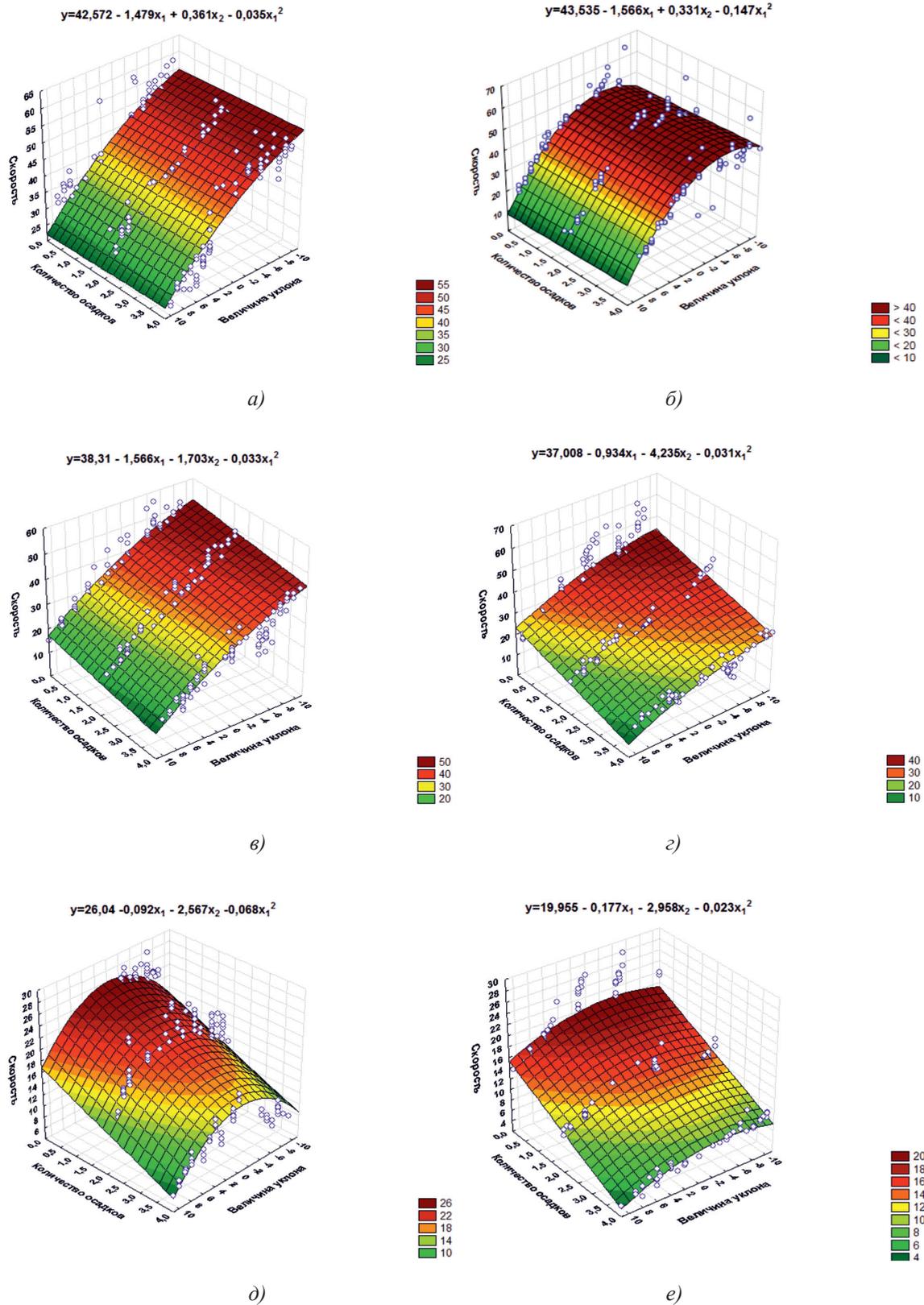


Рис. 3. Зависимость скорости лесовоза от величины уклона и количества осадков в летнем периоде: а – на магистрали в порожнем направлении; б – на магистрали в грузовом направлении; в – на ветке в порожнем направлении; г – на ветке в грузовом направлении; д – на усах в порожнем направлении; е – на усах в грузовом направлении

Полученные результаты могут быть использованы при планировании развития сети дорог на лесной территории, выбора способов и методов вывозки древесины.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края, Краевого фонда науки и ООО «Красресурс 24» в рамках научного 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. Платонова Е.В. Обоснование пропускной способности лесовозных дорог при различных скоростных режимах и моделях транспортного потока: дис. ... канд. технич. наук. Архангельск, 2006. 151 с.
Platonova E.V. Substantiation of the throughput capacity of logging roads at various speed modes and models of transport flow: dis. ... kand. tekhnich. nauk. Arkhangelsk, 2006. 151 p. (in Russian).
2. Мохирев А.П., Медведев С.О., Смолина О.Н. Факторы, влияющие на пропускную способность лесовозных дорог // Лесотехнический журнал. 2019. Т. 9. № 3 (35). С. 103–113. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.3/10.
Mokhirev A.P., Medvedev S.O., Smolina O.N. Factors affecting the capacity of logging roads // Lesotekhnicheskii zhurnal. 2019. Vol. 9. № 3 (35). P. 103–113 (in Russian).
3. Скрыпник В.И., Кузнецов А.В., Баклагин В.Н. Анализ и расчет параметров движения лесовозных автопоездов // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. 2010. № 8. С. 140–143.
Skrypnik V.I., Kuznetsov A.V., Baklagin V.N. Analysis and calculation of parameters of movement of logging trucks // Trudy lesoinzhenernogo fakul'teta PetrGU. 2010. № 8. P. 140–143 (in Russian).
4. Скрыпник В.И., Качанов А.Н. Новые методы тяговых расчетов на лесовозном транспорте. Петрозаводск, 1979. 118 с.
Skrypnik V.I., Kachanov A.N. New methods of traction calculations on timber transport. Petrozavodsk, 1979. 118 p. (in Russian).
5. Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Пладов А.В. Моделирование движения лесовозных автопоездов на ПВЭМ. Петрозаводск: Изд. ПетрГУ, 2003. 234 с.
Shigelman I.R., Skrypnik V.I., Pladov A.V. Modeling of the movement of logging trucks on the PVEM. Petrozavodsk: Izd. PetrGU, 2003. 234 p. (in Russian).
6. Сивков Е.Н., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В. Условия движения по лесовозным дорогам // Изучение лесосырьевой базы Республики Коми: научно-методический аспект: сборник материалов научно-практической конференции по научной теме института «Разработка научных ос-

нов и практических рекомендаций по переводу лесосырьевой базы Республики Коми на инновационную интенсивную модель расширенного воспроизводства на 2015–2020 годы». Сыктывкар, 2017. С. 19–23.

Sivkov E.N., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V. Conditions of movement on timber roads // Study of the timber resource base of the Komi Republic: scientific and methodological aspect: collection of materials of the scientific and practical conference on the scientific topic of the institute «Development of scientific foundations and practical recommendations for transferring the timber resource base of the Komi Republic to an innovative intensive model of expanded reproduction for 2015–2020». Syktyvkar, 2017. P. 19–23 (in Russian).

7. Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В., Дорохин С.В. Влияние условий движения на скоростные режимы транспортных потоков при вывозке древесины // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 4. С. 153–153.

Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Dorokhin S.V. Influence of traffic conditions on high-speed modes of transport flows during wood removal // Modern high technologies. 2014. № 4. P. 153–153 (in Russian).

8. Коваленко Т.В., Коточигов М.В. Использование климатической информации для организации транспортного освоения лесных массивов // Технология и оборудование лесопромышленного комплекса: сборник научных трудов. Выпуск 6. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. С. 104–108.

Kovalenko T.V., Kotochigov M.V. Use of climate information for the organization of transport development of woodlands // Technology and equipment of the forest industry complex: collection of scientific papers. Issue 6. SPb.: SPbGLTU, 2013. P. 104–108 (in Russian).

9. Мохирев А.П., Мохирев П.Ф. Исследование специфики лесозаготовок в Красноярском крае // Resources and Technology. 2015. Т. 12. № 2. С. 98–108. DOI: 10.15393/j2.art.2015.3061.

Mokhirev A.P., Mokhirev P.F. Study of the specifics of logging in Krasnoyarsk region // Resources and Technology. 2015. Vol. 12. № 2. P. 98–108 (in Russian).

10. Mazurkin P.M. Method of identification. International Multidisciplinary Scientific Geo Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 14. 2014. P. 427–434.

11. Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., А.В. Кузнецов. Анализ показателей работы и оценка эффективности лесозаготовительных машин в различных природно-производственных условиях // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2010. № 4. С. 66–75.

Shigelman I.R., Skrypnik V.I., Kuznetsov A.V. Analysis of performance indicators and evaluation of efficiency of logging machines in various natural production conditions // Uchenyye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. 2010. № 4. P. 66–75 (in Russian).

12. Мохирев А.П. Методика выбора лесозаготовительных машин под природно-климатические условия // Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 4 (24). С. 208–215. DOI: 10.12737/23459.

Mokhirev A.P. Method of selecting logging machines for natural and climatic conditions // Lesotekhnicheskii zhurnal. 2016. Vol. 6. № 4 (24). P. 208–215 (in Russian).

13. Grigorev I.V., Khitrov E.G., Kalistratov A.V., Stepanishcheva M.V. Dependence of filtration coefficient of forest soils to its density. Proceedings of the 14th International Multidisciplinary Scientific Geoconferences, Vol. 2 «Water Resources. Marine and Ocean Ecosystems», 16–26 June 2014, Albena, Bulgaria, 2014. P. 339–344.

УДК 504.54

ЭСТЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОВ ЗЕЛЕННОЙ ЗОНЫ ГОРОДОВ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ)

Розломий Н.Г., Гуков Г.В.

ФГБОУ ВО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия»,
Уссурийск, e-mail: boss.shino@mail.ru, gukovgv@mail.ru

Экологическая проблема современного мира – недостаток изучения особенностей функционирования, отсутствие оценки состояния и поиск путей оптимизации зеленой зоны городов и лесопарковых насаждений. В современных экономических условиях и ввиду разнообразных лесорастительных условий они обладают также различной рекреационной пригодностью, благодаря чему вовлечены в рекреационную деятельность в различной степени. В современном мире возникает необходимость изучения особенностей функционирования, оценки состояния и поиска путей оптимизации зеленой зоны городов и лесопарковых насаждений. В научной статье представлен материал по распределению покрытой лесом площади по породам и по классам возраста на исследуемой территории, дана оценка дигрессии и эстетической привлекательности урбанизированной территории. В качестве объекта исследования выступают леса зеленой зоны Владивостокской агломерации (г. Владивосток и г. Уссурийск). Все леса в пределах границы «Большого Владивостока» могут выполнять рекреационные функции, занимающие при этом достаточно большие площади и наделенные устойчивой структурой, составом насаждений. Однако в современных экономических условиях и ввиду разнообразных лесорастительных условий, различного расположения, эстетической ценности и общей биологической продуктивности, а также породного состава они наделены и непохожей рекреационной пригодностью, благодаря этому вовлечены в рекреационную деятельность в различной степени. Результаты проведенного исследования позволяют сделать выводы о том, что леса зеленых зон городов южного Приморья обладают высоким потенциалом, но требуют проведения лесохозяйственных мероприятий. Полученные данные свидетельствуют о том, что территория Владивостокской агломерации обладает высоким экологическим потенциалом. Но при этом все породы наделены непохожей рекреационной пригодностью.

Ключевые слова: зеленая зона, урбанизированная территория, дигрессия, эстетическая оценка, класс возраста, степень устойчивости, рекреационная оценка

AESTHETIC ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL POTENTIAL OF THE URBANIZED AREA (ON THE EXAMPLE OF FORESTS IN THE GREEN ZONE OF THE CITIES OF THE SOUTH)

Rozlomiĭ N.G., Gukov G.V.

Maritime State Agricultural Academy, Ussuriisk, e-mail: boss.shino@mail.ru, gukovgv@mail.ru

The environmental problem of the modern world is the lack of study of the peculiarities of functioning, the lack of assessment of the state and the search for ways to optimize the green zone of cities and forest park plantations. In today 's economic environment and because of the variety of forest-growing conditions, they also have different recreational suitability, thereby engaging in recreational activities to varying degrees. In today 's world, it is necessary to study the peculiarities of functioning, assess the condition and find ways to optimize the green zone of cities and forest park plantations. The scientific article presents material on the distribution of forest-covered area by rocks and by age classes in the studied territory, and assesses the digression and aesthetic attractiveness of the urbanized territory. As the object of research are forests of the green zone of Vladivostok agglomeration (Vladivostok and Ussuriisk). All forests that are located in «Greater Vladivostok» are able to perform various recreational functions that occupy large areas and are stable in terms of structure and composition of plantations. But in the modern economy and in connection with various forest growing conditions, different aesthetic values, location and general biological productivity, as well as breed composition, they are endowed with different recreational suitability. Thanks to this, they are involved in recency activities to varying degrees. The results obtained during the study suggest that the forests of green zones of south-coastal cities have a high potential, albeit they require special forest measures. In addition, it was possible to prove the fact that the considered territory has a high ecological potential, even if the studied rocks have different recreational values.

Keywords: digression, aesthetic assessment, class of age, degree of sustainability, recreational assessment, green area, urbanized area

На сегодняшний день рост урбанизации, а также повышенная антропогенная нагрузка на окружающую среду в городах растет уровень загрязнения. Экологическая проблема современного мира – недостаток изучения особенностей функционирования, отсутствие оценки состояния и поиск путей оптимизации зеленой зоны городов и лесопарко-

вых насаждений. По программе «Большой Владивосток» территория вокруг Владивостока в пределах системы городов, образующих в будущем Владивостокскую городскую агломерацию, формирует промышленный пояс, и здесь необходимо грамотно образовать «зелёные пояса» городов, именно это определяет актуальность исследования.

Научно-методический подход к проведению эстетической оценки рекреационных лесных ландшафтов раскрыт в широком спектре трудов отечественных исследователей, среди которых Н.М. Большаков (2006), С.А. Генсирук (1987), Т.А. Костюкова (1989), В.С. Моисеев (1990), Э. Репшас (1994), А.И. Тарасов (1986) и пр. Интерес к их методическим разработкам обусловлен тем фактом, что, делая попытку наиболее полного описания рекреационной ценности участка, ученые интегрировали в оценочный инструментарий показатели, которые никак не связаны с ландшафтными и таксационными характеристиками насаждений [1]. В этом определенно есть своя специфика, но предложенный авторами оценочный аппарат не позволяет получить качественную информацию о таких показателях при исполнении лесоустроительных работ, необходимы дополнительные измерения. Следовательно, методики, которые включают в себя такие показатели, будут актуальны только для тех лесных участков, оценка которых представляет особый интерес для исследователей и возможна при условии, что имеются материальные и трудовые ресурсы.

При создании зеленых массивов для рекреационного назначения следует иметь в виду, что процесс это длительный, если не сказать – бесконечный. Лучшие пейзажные территории России и Европы строились десятилетиями, и часто только при эксплуатации приобретался их законченный облик. Тем не менее коренная перепланировка зеленой зоны весьма нежелательна, так как в этом случае при сделанных улучшениях нередко происходят изменения, которые приводят к уничтожению результатов всей ранее проделанной работы. Для предотвращения нежелательных явлений при переработке растительных сообществ необходимо дать научное обоснование своим проектам.

Цель исследования: дать эстетическую оценку лесов на территории Владивостокской агломерации. Для решения поставленных целей нами намечен ряд задач: проанализировать распределение покрытой лесом площади исследуемой территории по основным породам и классам возраста, выделить основные типы леса на территории «Большого Владивостока», определить степень устойчивости насаждений, дать эстетическую оценку участков.

Материалы и методы исследования

Работы проводились в 2006–2018 гг. Характеристики геологического строения,

геоморфологии района, гидрографической сети, почвы и растительности брались из агроклиматических справочников и лесохозяйственного регламента Уссурийского филиала КГКУ «Приморское лесничество» (краевого государственного казенного учреждения «Приморское лесничество»).

Объектом исследования является зеленая зона г. Владивостока и г. Уссурийска. Для анализа роста древесных пород в зеленой зоне городов Владивостокской агломерации были заложены 34 временных пробных площади в культурах ореха маньчжурского, ясеня маньчжурского, бархата амурского, тополя Максимовича, сосны обыкновенной и сосны корейской. Закладке пробных участков предшествовали натурные обследования. Размеры пробных площадей варьировали от 0,4 до 1 га и более, так что на каждом участке количество деревьев основных пород составляло не менее 200 шт. Пробная площадь была ограничена четырьмя столбиками (в каждом углу по столбику), на которых указывалась площадь закладываемого участка и год закладки. После разметки пробных площадей на них проводились стандартные описания (положение в рельефе, окружение, размеры и т.д.).

При проведении инвентаризации была использована специальная шкала для оценки эстетических свойств деревьев и крупных кустарников, учитывающая цветовые характеристики коры ствола, листы, длину кроны, пропускную способность и др. (Рекомендации организации ..., 1985) [2]. Положение деревьев было отмечено на реальной географической основе картографическим методом [3]. Классы эстетической оценки определялись по методике Н.М. Тюльпановой и Б.А. Николаева [4, 5].

Результаты исследования и их обсуждение

Южное Приморье входит в зону смешанных лесов Дальнего Востока, которая считается северной окраиной зоны восточноазиатских муссонных смешанных хвойно-широколиственных лесов умеренного пояса, расположенных в сложном рельефе. Они многоярусны, в подлеске и нижнем ярусе произрастают высокодекоративные и красивоцветущие деревья, кустарники и лианы. Древостои чаще всего плотные. Вторичные леса, особенно на южных склонах, заняты дубняками паркового типа с густым подростом и подлеском из декоративных, красивоцветущих

деревьев и кустарников. Основные лесобразующие породы в КГКУ «Приморское лесничество» хвойные: сосна корейская (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc), ель аянская и корейская (*Picea ajanensis* Lindl. Et Gord., *P. koraiensis* Nakai), пихта белокорая (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.); твердолиственные: дуб монгольский (*Quercus mongolica* Fisch. Ex Ledeb.), дуб зубчатый (*Quercus dentata* Thunb.), ясень манчжурский (*Fraxinus mandshurica* Rupr.), ясень носолистный (*Fraxinus rhynchophylla* Hance), ильм японский (*U. Japonica* (Rehd.) Sarg.), ильм лопастной (*U. Lacinata* (Trautv.) Mayer) и др., клен приречный (*Acer ginnala* Maxim.), клен ложнозибольдов (*Acer pseudosieboldianum* (Pax.) Kom.); мягколиственные – береза даурская (*B. Davurica* Pall.), береза желтая (*Betula costata* Trautv.) и др., осина (*Populus tremula* L.) и др. древесные породы.

Распределение покрытой лесом площади исследуемой территории по основным породам и классам возраста неравномерно (рис. 1).

При реконструкции старых насаждений и создании новых элементов озеленения территории зеленой зоны прежде всего следует выдерживать соотношение разных типов пространственной структуры, вызывающих у рекреантов разные эмоции и настроение. Так, плотные массивы деревьев вызывают ощущение замкнутости и желание выйти на открытое место. Желатель-

но чередование открытых, полуоткрытых и закрытых пространств, обеспечивающих человеку необходимую смену впечатлений. Лесохозяйственные мероприятия осуществляются с целью повышения рекреационной устойчивости растительных группировок и увеличения комфортности отдыха. Лесохозяйственные мероприятия предусматривают ландшафтные рубки с элементами рубок ухода, лесекультурные работы с акцентом на сосну корейскую, уход за существующими насаждениями.

В настоящее время широкое применение в практике лесного хозяйства находит типологическая классификация лесов, предложенная Б.П. Колесниковым [6, 7]. На территории «Большого Владивостока» можно выделить (рис. 2).

Степень устойчивости насаждений по основным породам соответствует характеристике устойчивости по всей территории зеленой зоны (рис. 3). Площадь насаждений с высокой степенью устойчивости по всем главным породам в 1,2 раза больше, чем площадь насаждений с II, III и IV степенями устойчивости. Среднее значение класса устойчивости варьируется от 1,0 до 1,6, что говорит о высоком уровне устойчивости к рекреационным воздействиям.

Лесопользование участками с низкой степенью устойчивости в рекреационных целях приведет к необратимой рекреационной дигрессии [5]. От степени устойчивости зависит стадия дигрессии насаждения (рис. 4).

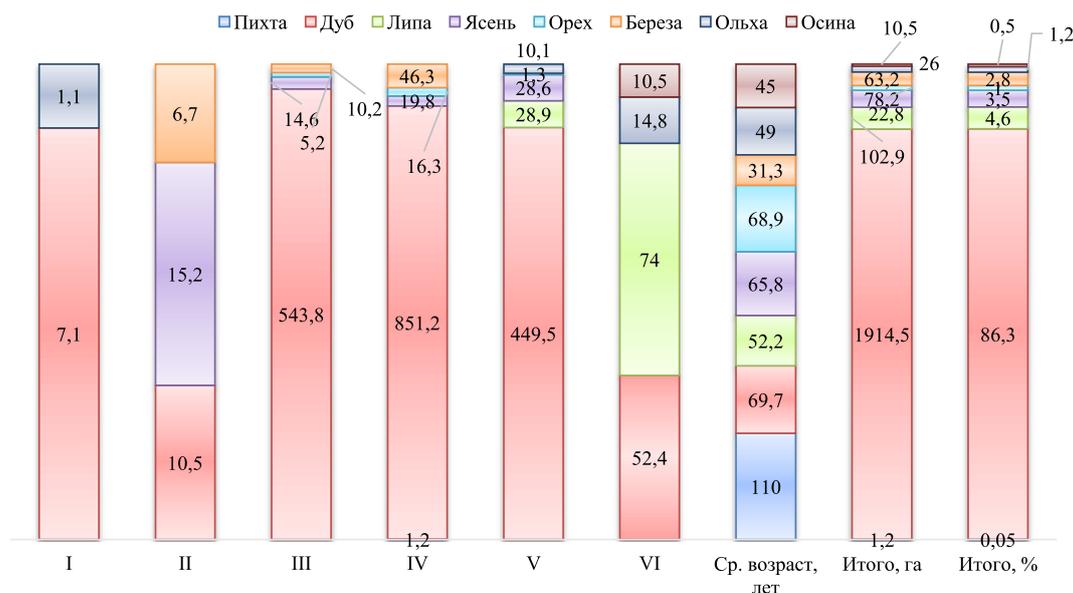


Рис. 1. Распределение покрытой лесом площади по породам и по классам возраста на исследуемой территории

- лиственнично-широколиственные леса;
- кедрово-широколиственные леса (Островное лесничество);
- чернопихтово-широколиственные леса (район р. Сухой, Артемовское участковое лесничество кв. 143, 144, 145; участок пихты цельнолистной Садгородское участковое лесничество, кв. 87);
- рощи тиса остроконечного (Нежинское участковое лесничество, кв. 33 вид. 9 кв. 14 вид.6, 7, 8);
- многовидовые широколиственные влажные леса (Надеждинское, Раздольнинское, Островное лесничества);
- долинные широколиственные леса (Раздольнинское участковое лесничество);
- ясеневые леса (Садгородское, Нежинское участковые лесничества);
- маньчжурские дубовые леса, или дубняки (территория всех лесничеств «Большого Владивостока»);
- кленово-липовые леса (Лазурное, Надеждинское участковые лесничества);
- леса березы ребристой, или желтоберезники (Артемовское участковое лесничество)

Рис. 2. Классы лесов, расположенных на территории «Большого Владивостока»

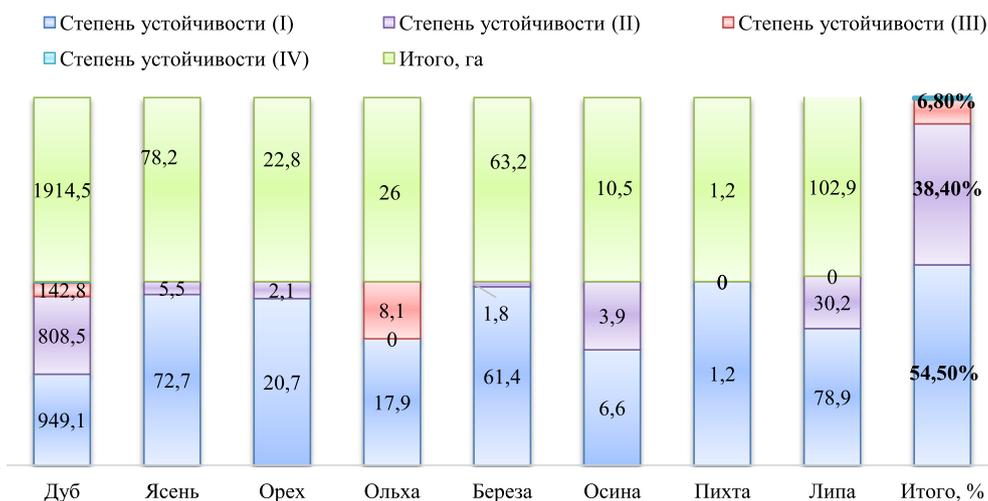


Рис. 3. Распределение покрытой лесом площади исследуемой территории по степеням устойчивости насаждений

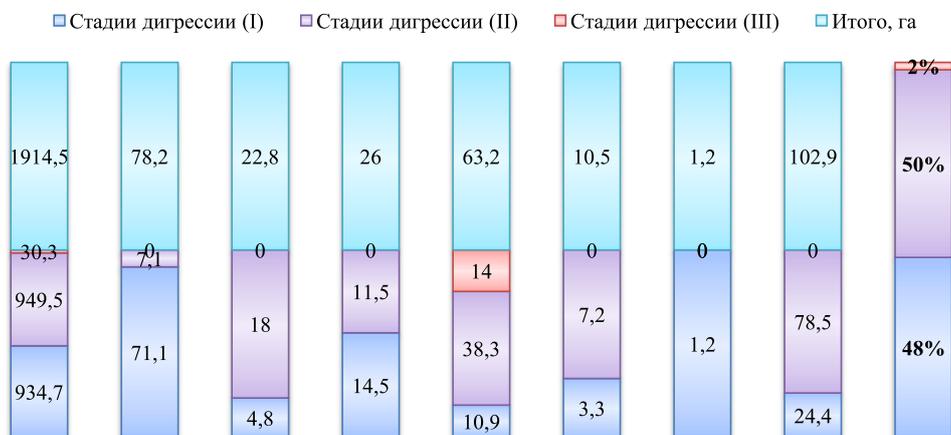


Рис. 4. Распределение покрытой лесом площади исследуемой территории по стадиям дигрессии

На исследуемых участках преобладают первая и вторая степени дигрессии. Третья стадия дигрессии наблюдается только на участках дуба и березы. Для ореха, березы и липы площадь насаждений с второй стадией дигрессии в 3,5 раза больше, чем насаждений с первой стадией дигрессии. Среднее значение стадий дигрессии варьирует от 1,0 до 2,01, что доказывает высокий предел устойчивости к рекреации. Можно предположить, что подобное распределение характерно для всей территории зеленой зоны Владивостокской агломерации.

Именно здесь важна эстетическая оценка, которая зависит от уровня захламленности, наличия сухостоя и ветровала, а также от проходимости и просматриваемости участков (рис. 5) [8, 9].

Из рисунка видно, что большую площадь занимают насаждения третьего

и второго классов эстетической оценки, это говорит о том, что большая часть территории нуждается в рубках ухода и других лесохозяйственных мероприятиях по повышению эстетической привлекательности. Формирование пространства при реконструкции и создании ландшафтных композиций подчиняется целому ряду требований, главное из которых – наличие комфортной микроклиматической среды для человека. Решение эстетических задач подчинено общественным требованиям и зависит от исходных природных данных.

Рекреационная оценка территории необходима в первую очередь для информационного обеспечения управления природопользованием с целью повышения его эколого-экономической эффективности и развития сферы рекреации (рис. 6).

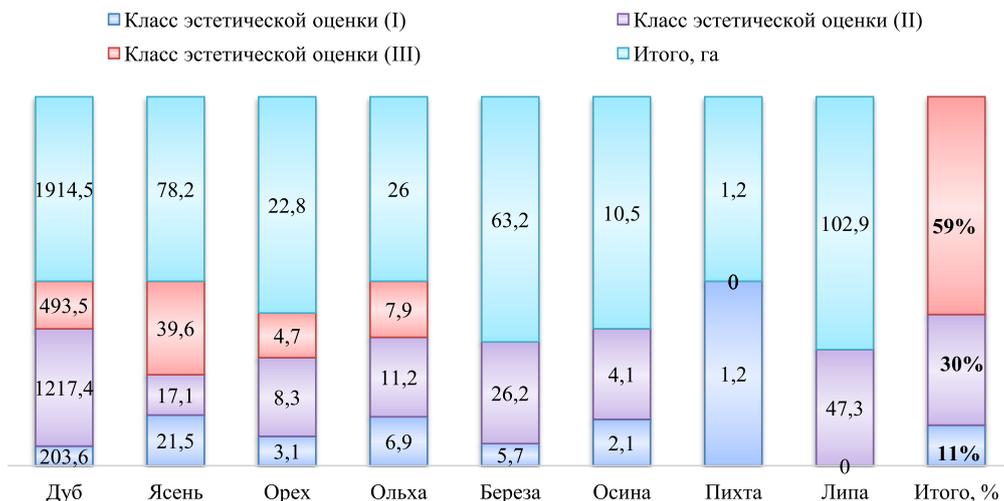


Рис. 5. Эстетическая оценка участков, га

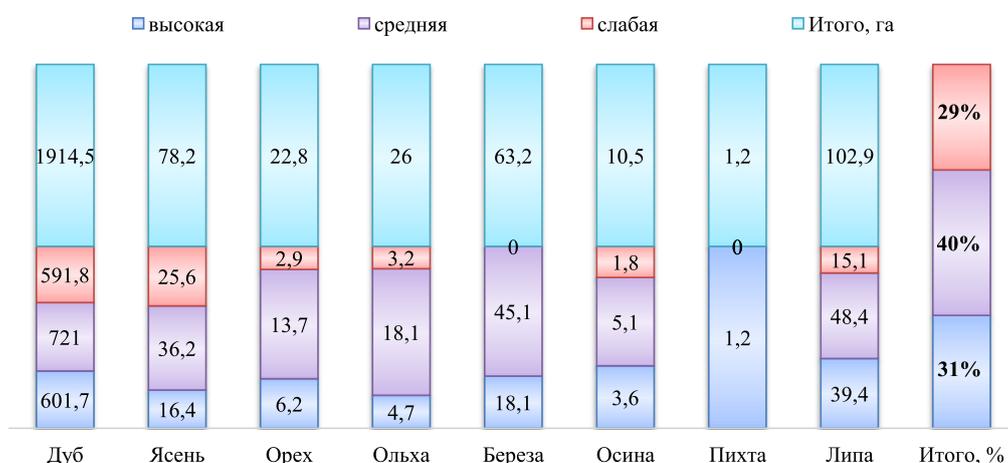


Рис. 6. Рекреационная оценка исследуемой территории, га

1. Восстановление облика уникальных хвойно-широколиственных лесов с лесными плавными дорожками
2. Усиление группового распределения деревьев внутри массивов и осветления вокруг деревьев вдоль дорожек для повышения игры светотени
3. Удаление больных и ослабленных деревьев, высоких растений подлеска, которые могут закрывать проникновение бокового света в древостой
4. Уборка кустарников семейства Крыжовниковые вокруг сосен, так как они являются промежуточными хозяевами для ржавчинного гриба (*Cronartium*), поразившего практически все деревья сосны, а также удаление всех древесных пород, сопутствующих сосне, что усилит эстетику формируемого древостоя
5. Изреживание древостоев вдоль пешеходных дорог и троп на глубину 30-50 м, особенно на поворотах
6. Создание декоративно-эстетического эффекта за счет формирования разнообразия отдельных куртин древостоя и групп деревьев, используя внутривидовую и индивидуальную изменчивость эндемичных древесных пород (бархат амурский, ясень маньчжурский, ильм японский)

Рис. 7. Направления повышения эстетического восприятия пейзажа

На основе проведенной инвентаризации разработаны предложения по улучшению эстетического восприятия пейзажа (рис. 7).

Заключение

Большая часть исследуемой территории имеет высокую и среднюю рекреационную оценку, но высок и процент территорий со слабой рекреационной оценкой, что подтверждает необходимость разработки комплекса лесохозяйственных мероприятий по повышению данного показателя. Относительно высокий процент территорий со слабой рекреационной оценкой также свидетельствует о нехватке площади зеленой зоны городов Владивостокской агломерации, что объясняется высокими темпами их роста. Представленные в данной статье рекомендации позволят минимизировать данный тренд. Все же в целом следует признать, что в современных экономических условиях и ввиду разнообразных лесорастительных условий, различного расположения, эстетической ценности и общей биологической продуктивности, а также породного состава леса зеленой зоны городов южного Приморья наделены и непохожей рекреационной пригодностью, благодаря этому они вовлечены в рекреационную деятельность в различной степени.

Список литературы

1. Титова М.С., Розломий Н.Г. Реакция пигментной системы сосны обыкновенной на техногенное загрязнение на территории исторически значимых объектов г. Уссурийска // Вестник КрасГАУ. 2014. № 4. С. 170–173.

Titova M.S., Roslomy N.G. Reaction of the pigment system of pine to man-made pollution on the territory of historically significant objects of Ussuriisk // Vestnik KrasGAU. 2014. № 4. P. 170–173 (in Russian).

2. Инструкция Госкомлеса СССР от 21.12.1985 «Рекомендации по организации и ведению хозяйства в лесах рекреационного назначения». Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9032037> (дата обращения: 17.07.2020).

Instruction of the State Committee of the USSR from the 21.12.1985 «Recommendations on the organization and maintenance of agriculture in recreational forests» // Electronic fund of legal and regulatory and technical documentation. [Electronic resource]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9032037> (date of access: 17.07.2020) (in Russian).

3. Яллай В.А. Рекреационное лесопользование // Новая наука: современное состояние и пути развития. 2015. № 4–1. С. 237–239.

Yallai V.A. Recreational forest management // New science: modern state and development paths. 2015. № 4–1. P. 237–239 (in Russian).

4. Николаев В.А. Ландшафтоведение: Эстетика и дизайн: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по геогр. специальностям. М.: КНОРУС, 2017. 182 с.

Nikolaev V.A. Landscape science: Aesthetics and design: text. manual for university students studying geogr. Specialties. M.: KNORUS, 2019. 182 p. (in Russian).

5. Тюльпанов Н.М. Лесопарковое хозяйство. М.: Книга по Требованию, 2016. 159 с.

Tulpanov N.M. Forest Park Economy. M.: Kniga po Trebovaniyu, 2016. 159 p. (in Russian).

6. Исаченко Т.Е., Косарев А.В. Рекреационное природопользование: учебник для вузов. М.: Юрайт, 2020. 268 с.

Isachenko I.E., Kosarev A.V. Recreational Environmental Management: a textbook for universities. M.: Yurait, 2020. 268 p. (in Russian).

7. Тарасов А.И. Рекреационное лесопользование. М.: Агропромиздат, 1986. 176 с.

Tarasov A.I. Recreational forest management. M.: Agropromizdat, 1986. 176 p. (in Russian).

8. Чижова В.П. Рекреационные нагрузки в зонах отдыха. М.: Мысль, 1977. 49 с.

Chijova V.P. Recreational Loads in Recreation Areas. M.: Thought, 1977. 49 p. (in Russian).

9. Li C.F., Cao J.F., Lu J.S., Yao L., Wu Q.-Y. Ecological risk assessment of soil heavy metals for different types of land use and evaluation of human health. Huan Jing KeXue. 2018. Vol. 39. № 12. P. 5628–5638. DOI: 10.13227/j.hj.kx.201804228.

СТАТЬИ

УДК 551.515.4(470.6)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧИСЛА ДНЕЙ С ГРОЗОЙ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ГРОЗ В ГОДУ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА¹Аджиева А.А., ^{2,3}Керефова З.М., ³Гятов Р.А., ⁴Тумгоева Х.А.¹*Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, Нальчик, e-mail: adzhieva@mail.ru;*²*ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик, e-mail: zknyaz-kbsu@mail.ru;*³*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Нальчик, e-mail: gyatov88@mail.ru;*⁴*Чеченский государственный университет, Грозный, e-mail: hadiga-71@mail.ru*

Гроза является одним из наиболее опасных метеорологических явлений. Поражению от грозовой деятельности подвержены как наземные объекты, так и летательные аппараты: самолеты и ракеты. Основной задачей настоящей работы является сравнительная оценка поражаемости зданий и сооружений молниями в зависимости от методики определения продолжительности гроз в часах для территорий Северного Кавказа. Для определения поражаемости различных объектов молниями необходимы точные значения удельной поражаемости молниями на участке расположения объектов. Анализ выполнен на основе данных грозо-ленгационной сети (ГПС) ФГБУ «ВГИ» и данных метеостанций. Для решения указанной задачи выполнено исследование взаимосвязи между числом дней с грозой и продолжительностью гроз в часах для территорий Северного Кавказа. В работе для определения вышеуказанных статистических характеристик гроз и их вариаций на Северном Кавказе впервые в России был использован грозорегистратор LS 8000 производства фирмы «Vaisala», Финляндия. Были отобраны данные о грозовых явлениях на территории Северного Кавказа за многолетний период наблюдений, с 2008 по 2019 г. На их основе для различных территорий сгруппированы для анализа: число дней с грозой в месяц, в год, а также продолжительность грозы в месяц и в год. Актуальной задачей для молниезащиты является уточнение климатических карт продолжительности гроз. В работе получены карты районирования территории России по среднегодовой продолжительности гроз в часах, построенные по данным, полученным на метеорологических станциях визуально-слуховым методом и по инструментальным наблюдениям.

Ключевые слова: молния, продолжительность гроз, удельная поражаемость, опасные явления погоды, корреляционный анализ, расчет поражений зданий и сооружений

RESEARCH OF THE NUMBER OF DAYS WITH A THUNDERSTORM AND THE DURATION OF THUNDERSTORMS PER YEAR IN THE NORTH CAUCASUS¹Adzhieva A.A., ^{2,3}Kerefova Z.M., ³Gyatov R.A., ⁴Tumgoeva Kh.A.¹*Kabardino-Balkarian State Agrarian University, Nalchik, e-mail: adzhieva@mail.ru;*²*High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, e-mail: zknyaz-kbsu@mail.ru;*³*Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: gyatov88@mail.ru;*⁴*Chechen State University, Grozny, e-mail: hadiga-71@mail.ru*

Thunderstorm is one of the most dangerous meteorological phenomena. Both ground objects and aircraft: airplanes and missiles are susceptible to damage from thunderstorm activity. The main objective of this work is a comparative assessment of the impact of buildings and structures by lightning, depending on the method for determining the duration of thunderstorms in hours for the territories of the North Caucasus. To determine the susceptibility of various objects to lightning, precise values of the specific susceptibility to lightning at the site of the location of objects are required. The analysis was carried out on the basis of data from the lightning direction finding network (GPS) of the Federal State Institution VGI and data from meteorological stations. To solve this problem, a study was made of the relationship between the number of days with a thunderstorm and the duration of thunderstorms in hours for the territories of the North Caucasus. To determine the above statistical characteristics of thunderstorms and their variations in the North Caucasus, for the first time in Russia, an LS 8000 thunderstorm detector manufactured by Vaisala Finland was used. We selected data on thunderstorm phenomena in the North Caucasus for a long-term period, from 2008 to 2019 observations. On their basis, for different territories, they are grouped for analysis: the number of days with a thunderstorm per month, per year, as well as the duration of a thunderstorm per month and per year. An urgent task for lightning protection is to clarify climatic maps of thunderstorm duration. In this work, maps of the zoning of the territory of Russia were obtained by the average annual duration of thunderstorms in hours, constructed according to data obtained at meteorological stations by the visual-auditory method and from instrumental observations.

Keywords: lightning, duration of thunderstorms, specific susceptibility, dangerous weather phenomena, correlation analysis, calculation of damage to buildings and structures

Гроза – это комплексное атмосферное явление, признаками которого являются многократные электрические разряды меж-

ду разноименно заряженными областями облака – облачные разряды, межоблачные разряды или между облаками и землей – на-

земные разряды. Оперативное определение ее местоположения, интенсивности, направления и скорости перемещения имеет большое практическое значение для многих отраслей хозяйственной деятельности человека.

Используемые в настоящее время нормативные документы [1–3] слабо ориентированы на использование достаточно неточных, осредненных для больших территорий характеристик грозовой активности и параметров молний. Намечаемый в России переход к цифровым управляющим системам, цифровой экономике требует принципиального повышения надежности функционирования молниезащитных объектов, но и управляющих систем в режимах, связанных с воздействием тока молнии и электромагнитного поля молнии.

Цель исследования – определение взаимосвязи числа дней с грозой и продолжительности гроз на различных территориях по данным визуальных и инструментальных наблюдений.

Материалы и методы исследования

Количество поражений молниями в год различных объектов зависит от его геометрических размеров и количества поражений молниями земной поверхности в год n , $1/(\text{км}^2 \text{ в год})$ на территории нахождения объекта.

Подсчет ожидаемого количества N поражений молнией в год производится по формулам (1) и (2). Для сосредоточенных зданий и сооружений (дымовые трубы, вышки, башни):

$$N = 9\pi h^2 n * 10^{-6}, \quad (1)$$

для зданий и сооружений прямоугольной формы:

$$N = [(S + 6h)(L + 6h) - 7,7h^2]n10^{-6}, \quad (2)$$

где h – наибольшая высота здания или сооружения; S , L – соответственно ширина и длина здания или сооружения; n – среднегодовое число ударов молнии в 1 км^2 земной поверхности (удельная плотность, ударов молнии в землю) в месте нахождения здания или сооружения.

Для зданий и сооружений сложной конфигурации в качестве S и L рассматриваются ширина и длина наименьшего прямоугольника, в который может быть вписано здание или сооружение в плане.

Для определения поражаемости различных объектов молниями необходимы точ-

ные значения удельной поражаемости молниями на участке расположения объектов.

Плотность ударов молнии в землю или удельная поражаемость, выраженная через число поражений 1 км^2 земной поверхности за год, определяется по данным метеорологических наблюдений в месте размещения объекта. Если же плотность ударов молнии в землю n , $1/(\text{км}^2 \text{ в год})$ неизвестна, ее можно рассчитать по следующей формуле:

$$n = 6,7 * \frac{T}{100}, \quad (3)$$

где T – среднегодовая продолжительность гроз в часах, определенная по региональным картам интенсивности грозовой деятельности.

Карта районирования территории России по среднегодовой продолжительности гроз в часах согласно [3] представлена на рис. 1. Карта построена по данным, полученным на метеорологических станциях визуально-слуховым методом.

Актуальной задачей для молниезащиты является уточнение климатических карт продолжительности гроз на основе инструментальных наблюдений за грозами, отличающихся от визуальных методов значительной точностью и оперативностью. Используя материалы инструментальных наблюдений грозопеленгационной сети ФГБУ «ВГИ» [4], авторы построили карту среднегодовой продолжительности гроз на Северном Кавказе (рис. 2).

Источником информации о грозах для создания карт, представленных на рис. 1, являются визуальные наблюдения за числом дней с грозой, которые производятся на метеостанциях по территории России [5, 6]. По этим данным оцениваются другие параметры гроз, например удельная поражаемость территории молниями.

Карты районирования территории России по грозовым характеристикам построены на данных метеостанций о числе дней с грозой за многолетние периоды наблюдений и взаимосвязи между среднегодовыми значениями числа дней с грозой и продолжительностью гроз. Связь средней за год продолжительности гроз в часах T и числа дней с грозой D определяется выражением

$$T = K * D, \quad (4)$$

где K – размерный коэффициент, принимаемый 2 ч/день .

На сегодняшний день существуют как визуальный, так и инструментальный методы наблюдения за грозами.

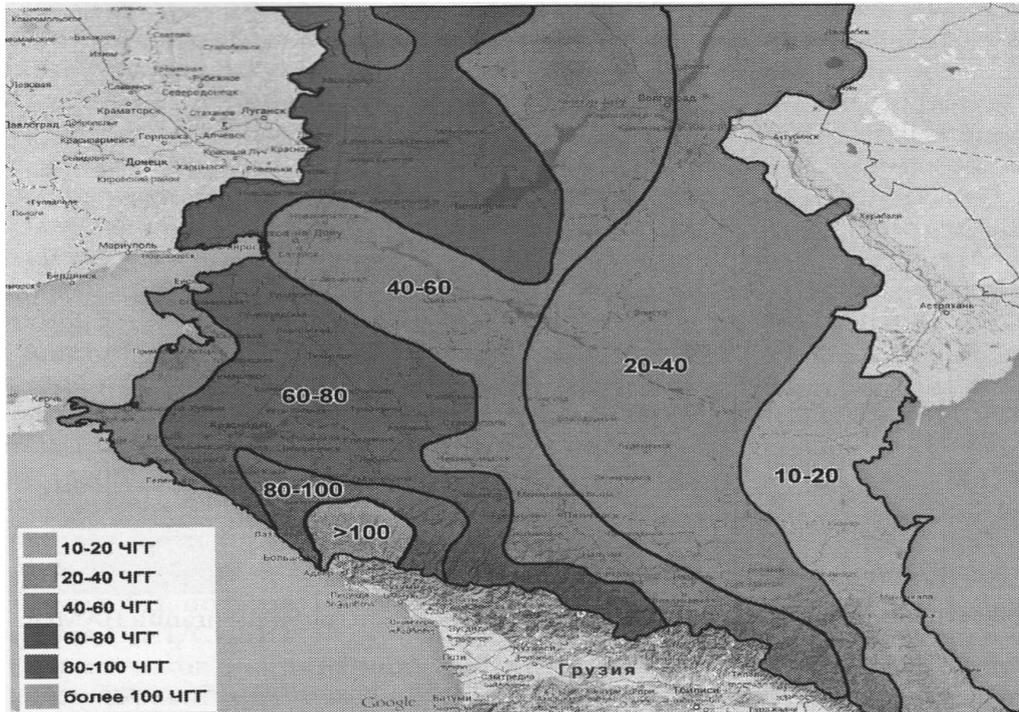


Рис. 1. Карта среднегодовой продолжительности гроз в часах по визуально-слуховым наблюдениям

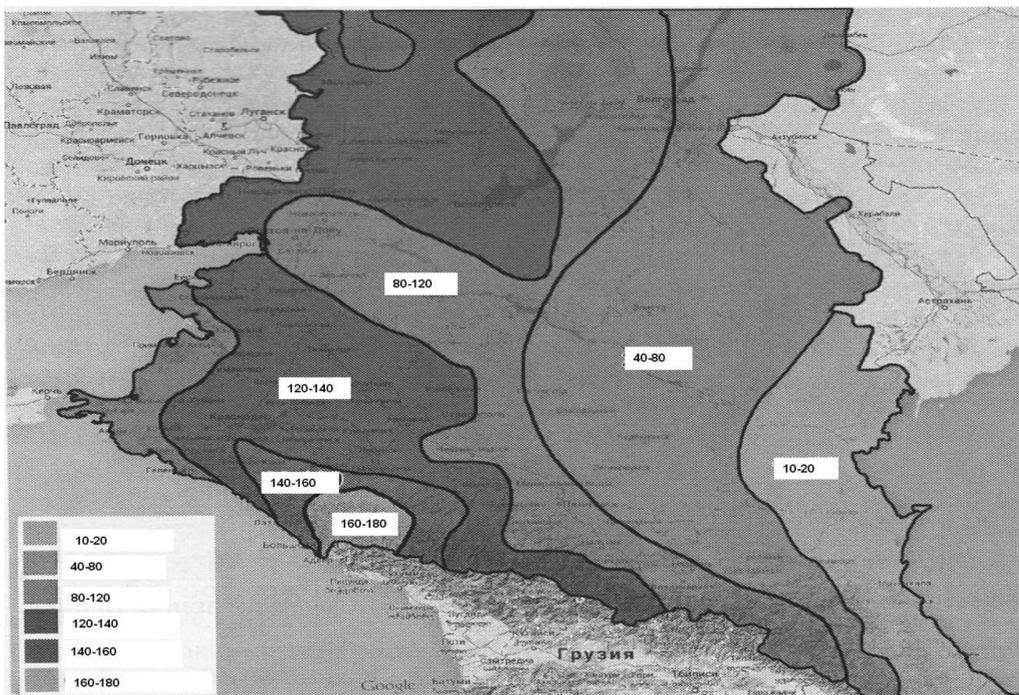


Рис. 2. Карта среднегодовой продолжительности гроз в часах по инструментальным наблюдениям

Система регистрации характеристик гроз – грозопеленгационная сеть (ГПС) LS 8000 производства фирмы «Vaisala» впер-

вые в России развернута в ВГИ на Северном Кавказе в 2008 г. [4]. ГПС позволяет за короткие сроки собрать информацию о клима-

тических характеристиках гроз (число дней с грозой, продолжительность гроз) и параметров молний.

Результаты исследования и их обсуждение

Основной задачей настоящей работы является сравнительная оценка поражаемости зданий и сооружений молниями в зависимости от методики определения продолжительности гроз в часах для территорий Северного Кавказа. Анализ выполнен на основе данных ГПС ФГБУ «ВГИ» и данных метеостанций [2, 3, 7].

Для изучения взаимосвязи числа дней с грозой, фиксируемых метеостанциями, и продолжительности гроз в часах за эти дни использованы инструментальные наблюдения ГПС ВГИ. Были отобраны данные о грозовых явлениях на территории Северного Кавказа за многолетний период наблюдений, с 2008 по 2019 г. На их основе для различных территорий сгруппированы для анализа: число дней с грозой в месяц, в год, а также продолжительность грозы в месяц и в год. На рис. 3 представлен годовой ход месячных значений числа дней с грозой и их продолжительности на территориях мониторинга на метеостанциях. Радиус наблюдаемой метеостанцией территории составляет 15 км.

Собранные многолетние данные ГПС ФГБУ «ВГИ» были сгруппированы по мере возрастания параметров – числа дней с грозой и продолжительности гроз (рис. 3 и 4). Выполнен анализ корреляционной связи между числом дней с грозой D и продол-

жительности гроз T , а также выражения их корреляционной взаимосвязи между характеристиками D и T .

Выполнен поиск зависимости между продолжительностью гроз T и числом дней с грозой D и сделана оценка значимости зависимости. Коэффициент корреляции равен 0,98.

Исследуя статистическую зависимость между значениями числа дней с грозой D в интервале от 0 до 30,5 дня и продолжительность гроз в часах в диапазоне от 0 до 300 ч, был рассчитан коэффициент корреляции.

Получен высокий и статистически значимый коэффициент корреляции – 0,98, следовательно, возможно построение регрессионной модели, отражающей реальные закономерности взаимосвязи между D и T . Параметры регрессионной модели вычислены известным методом наименьших квадратов. В соответствии с теорией статистики уравнение простой регрессии имеет вид

$$T = 10,66 * e^{0,15 * D}. \quad (5)$$

Инструментальными наблюдениями ГПС ВГИ получено, что на пункте наблюдений (метеостанции) среднегодовое число дней с грозой составляет 75 дней, продолжительность гроз 200 ч. Для сравнения, формула (4) для такого количества дней с грозой дает 150 ч, что меньше на 50 ч. Такая разница приводит к значительному расхождению (до 30%) количества поражений молниями зданий и сооружений N , получаемых визуально-слуховым методом и инструментальными наблюдениями (таблица).

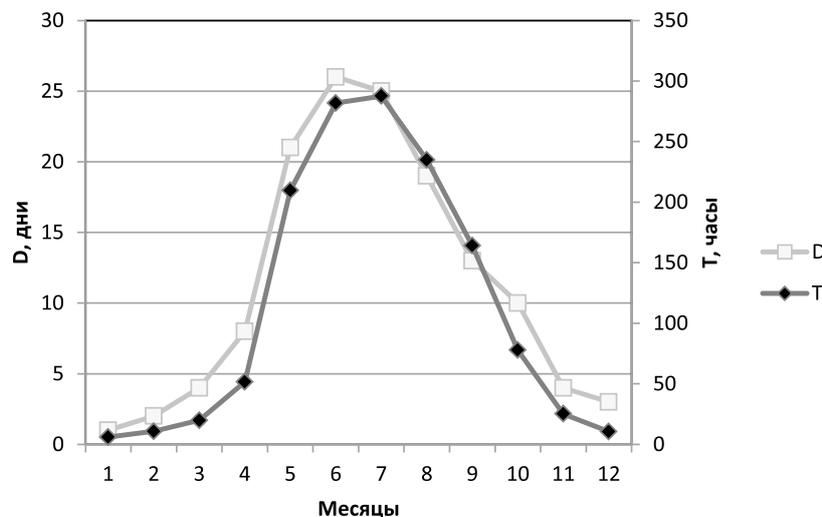


Рис. 3. График зависимости числа дней с грозой и продолжительности гроз по месяцам

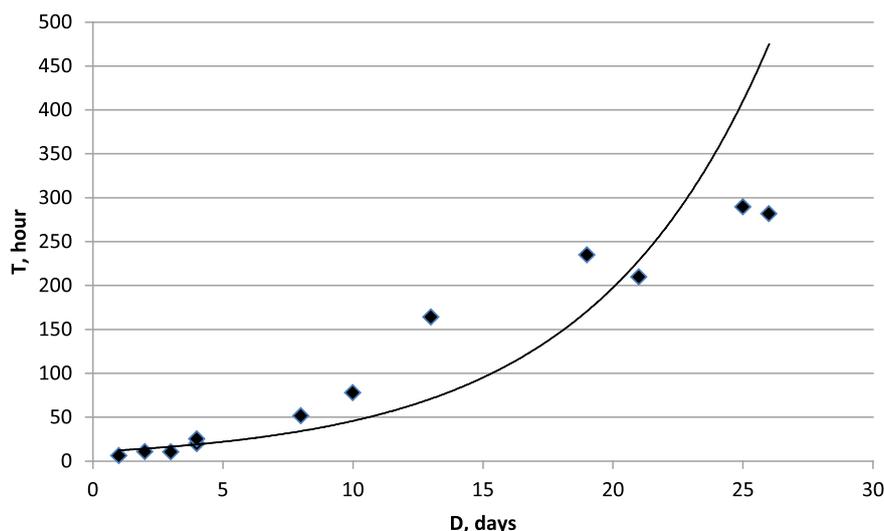


Рис. 4. Зависимость продолжительности гроз от числа дней с грозой

Количество поражений молниями в год зданий и сооружений N , по визуально-слуховым наблюдениям на метеостанциях и инструментальным наблюдениям

№ п/п	Вид объекта	По данным метеостанций			По данным LS8000		
		T , час	n , 1/(км ² в год)	N	T , час	n , 1/(км ² в год)	N
1	Сосредоточенные здания (трубы, вышки, башни). $h = 100$ м	150	10,0	2,8	200	14,0	3,9
2	Здания и сооружения. $H = 30$ м, $S = 50$ м, $L = 200$ м	150	10,0	0,7	200	14,0	1,0

Выводы

Выполнена сравнительная оценка поражаемости зданий и сооружений молниями в зависимости от методики определения продолжительности гроз в часах для территорий Северного Кавказа. Анализ выполнен на основе данных ГПС ФГБУ «ВГИ» и данных метеостанций.

Инструментальными наблюдениями ГПС ВГИ получено, что на пункте наблюдений (метеостанция) среднегодовое число дней с грозой составляет 75 дней, продолжительность гроз 200 ч. По результатам анализа многолетних инструментальных данных зависимости между продолжительностью гроз T и числом дней с грозой D в виде экспоненциального выражения и сделана оценка значимости зависимости.

Список литературы / References

1. РД34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. Утверждена Главтехуправлением Минэнерго СССР 12.10.87. М., 1987. 10 с.
2. Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений. ВМО-№ 8. Изд. ВМО, 2014. 778 с.

Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO-No. 8. Ed. WMO, 2014. 778 p. (in Russian).

3. Правила устройства электроустановок / Министерство топлива и энергетики Российской Федерации. 6-е изд. М.: Главгосэнергонадзор России, 1998. 607 с.

Rules for Electrical Installation / Ministerstvo topliva i energetiki Rossiyskoy Federatsii. 6-e izd. M.: Glavgosenergonadzor Rossi, 1998. 607 p. (in Russian).

4. Аджиев А.Х., Тапасханов В.О., Стасенко В.Н. Система грозопеленгации на Северном Кавказе // Метеорология и гидрология. 2013. № 1. С. 2–11.

Adzhiev A.Kh., Tapaskhanov V.O., Stasenkov V.N. Lightning direction finding system in the North Caucasus // Meteorologiya i gidrologiya. 2013. № 1. P. 5–11 (in Russian).

5. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций. Российская Федерация / Под общ. ред. С.К. Шойгу. М.: Дизайн. Информация. Картография, 2010. 696 с.

Atlas of natural and man-made hazards and emergency risks situations. Russian Federation / Pod obshch. red. S.K. Shoygu. M.: Dizayn. Informatsiya. Kartografiya, 2010. 696 p. (in Russian).

6. Аджиев А.Х., Куповых Г.В., Андриевская В.Ю., Юрченко Н.В., Кудринская Т.В., Редин А.А. Мониторинг характеристик грозовой активности на юге европейской части России // Известия ЮФУ. Технические науки. 2017. № 4. С. 212–223. DOI: 10.23683/2311-3103-2017-4-212-223.

Adzhiev A.Kh., Kupovykh G.V., Andrievskaya V.Yu., Yurchenko N.V., Kudrinskaya T.V., Redin A.A. Monitoring of characteristics of thunderstorm activity in the south of the European part of Russia // Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki. 2017. № 4. P. 212–223 (in Russian).

7. Аджиев А.Х., Князева З.М., Думаева Л.В. Анализ грозовой активности на территории Западного Кавказа по данным инструментальных регистраций и наблюдений на метеостанциях // Известия КБНЦ РАН. 2013. № 3. С. 31–37.

Adzhiev A.Kh., Knyazeva Z.M., Dumaeva L.V. Thunderstorm analysis activity in the Western Caucasus according to instrumental registrations and observations at meteorological stations // Izvestiya KBNTS RAN. 2013. № 3. P. 31–37 (in Russian).

УДК 624.131.37:624.131.43

**ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТТАИВАЮЩИХ ГРУНТОВ
ЕСТЕСТВЕННОГО СЛОЖЕНИЯ****Вахрин И.С., Кузьмин Г.П., Спектр В.В.***ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН,
e-mail: VakhLIG2010@yandex.ru, kuzmin@mpi.ysn.ru, vvspector@mpi.ysn.ru*

Деформация оттаивающих грунтов обусловлена уменьшением их пористости вследствие отжатия воды и воздуха из пор грунта под действием собственной массы и приложенной внешней нагрузки. Чем больше пористость мерзлого грунта, тем больше величина его осадки при оттаивании. Причем это не зависит от того, в какой степени заполнены поры грунта льдом и незамерзшей водой. Влияние влажности (льдиности) на деформацию мерзлого грунта при оттаивании неоднозначно. При изменении влажности мерзлых грунтов в диапазоне от 0 до полной влагоёмкости деформационные характеристики остаются постоянными. При повышении влажности за пределом полной влагоёмкости коэффициенты оттаивания и сжимаемости, характеризующие величину осадки мерзлых грунтов при оттаивании, возрастают. Эти положения были подтверждены результатами испытаний на компрессионном приборе искусственно приготовленных образцов. В данной статье излагаются результаты определения деформационных характеристик естественных грунтов ненарушенного сложения, образцы которых были отобраны при выполнении инженерно-геологических изысканий на строительных площадках в разных районах территории Якутии. Грунты различного состава, криогенного строения и генезиса, места отбора проб исследованных грунтов показаны на схематической карте Якутии. Приведены физические характеристики этих грунтов. Представлены в графическом виде коэффициенты оттаивания и сжимаемости почти трёхсот образцов различных типов грунтов естественного сложения и для сравнения образцов искусственного изготовления. Показано, что графики зависимости деформационных характеристик естественных грунтов ненарушенного сложения и искусственных образцов идентичны. Коэффициенты оттаивания и сжимаемости естественных грунтов с одинаковой пористостью при изменении влажности в диапазоне от 0 до полной влагоёмкости постоянны, а при увеличении влажности за пределом полной влагоёмкости они возрастают. Зависимости деформационных коэффициентов оттаивающих грунтов естественного сложения от пористости выражаются, как и коэффициенты искусственных образцов, линейной функцией и могут быть рекомендованы в качестве паспорта деформационных характеристик мерзлых грунтов при оттаивании. Полученные результаты подтверждают, что величины деформационных характеристик мерзлых грунтов при оттаивании определяются пористостью их и не зависят от степени заполнения пор льдом и незамерзшей водой. Небольшие ледяные тела выступают в данном случае как пористость. Поэтому расчёты осадки мерзлых грунтов при оттаивании можно выполнять по данным определений коэффициентов оттаивания и сжимаемости без учёта криогенного их строения.

Ключевые слова: деформационные характеристики, компрессионные испытания, мерзлый грунт, влажность, полная влагоёмкость, пористость

THAW DEFORMATION CHARACTERISTICS OF UNDISTURBED SOILS**Vakhrin I.S., Kuzmin G.P., Spektr V.V.***Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, e-mail: VakhLIG2010@yandex.ru,
kuzmin@mpi.ysn.ru, vvspector@mpi.ysn.ru*

Deformation of thawing soils is caused by the decrease in porosity due to drainage of pore water and air under their own weight and applied loads. The higher the porosity of a frozen soil, the greater its settlement upon thawing. This relationship is independent of the degree of saturation with ice and unfrozen water. The effect of water content (ice content) on thaw deformation is not straightforward. At water contents of frozen soils between 0 and full saturation, the thaw strain characteristics remain constant. When water contents increase above saturation, the coefficients of thawing and compressibility which characterize the amount of thaw settlement increase. These patterns were confirmed by thaw consolidation tests performed earlier on artificially prepared specimens. In this article, we present the results of tests that have been made on undisturbed samples collected in different areas of Yakutia during engineering site investigations. The tested soils vary in composition, cryostructure and genesis. Sampling sites are shown on the schematic map of Yakutia. The physical properties of test soils are described. The coefficients of thawing and compressibility are presented in graphical form for about 300 undisturbed samples, as well as for artificially prepared specimens for comparison. The thaw-strain plots for the undisturbed cores are shown to be identical to those for the artificial specimens. The coefficient of thawing and the coefficient of compressibility of the natural soils of the same porosity are constant over the range of moisture content from 0 to full saturation and increase with increasing moisture content above saturation. Similar to the artificial specimens, the relationships between the thaw-deformation coefficients and porosity of the undisturbed soils are described by a linear function and can be recommended as a reference for the thaw-deformation characteristics of frozen soils. The study results confirm that the thaw-deformation coefficients are dependent on porosity and independent of the degree of pore saturation with ice and unfrozen water. In this case, small ice bodies act as porosity. Therefore, coefficients of thawing and compressibility determined with no account for cryostructure can be used in thaw settlement analyses.

Keywords: deformation characteristics, consolidation tests, frozen soil, water content, saturated water content, porosity

Основной особенностью мерзлых грунтов при оттаивании как деформируемого тела является наличие в них пор, объём которых под действием собственной массы

и приложенной внешне нагрузки уменьшается. Образовавшаяся при таянии льда вода, незамерзшая вода и воздух под действием нагрузки вытесняются из пор грунта. Дефор-

мации мёрзлых грунтов принято характеризовать коэффициентами оттаивания и сжимаемости соответственно при отсутствии и наличии компрессионного давления [1, 2]. Как видно из результатов компрессионных испытаний искусственных образцов, эти коэффициенты одинаково зависят от физических характеристик грунтов [3]. В диапазоне изменения влажности мёрзлых грунтов от 0 до полной влагоёмкости величина их не изменяется. При дальнейшем повышении влажности увеличивается пористость грунта вследствие раздвижения частиц грунта при промерзании и величины деформационных коэффициентов возрастают.

Целью исследования является выявление возможных особенностей деформирования оттаивающих естественных грунтов ненарушенного сложения и составления базы данных, проведены компрессион-

ные испытания в условиях невозможности бокового расширения образцов грунта различного состава, строения и генезиса, отобранных при выполнении инженерно-геологических изысканий на строительных площадках на территории Якутии.

Материалы и методы исследования

Объектом настоящих исследований являются мёрзлые дисперсные грунты естественного сложения, отобранные в процессе проведения инженерно-геологических изысканий на территории Якутии (рис. 1). Места отбора проб обозначены:

- № 1 – о. Котельный;
- № 2 – Амуро-Якутская железная дорога;
- № 3 – Трубопроводная система Восточная Сибирь – Тихий океан;
- № 4 – Магистральный газопровод Якутия – Хабаровск – Владивосток.

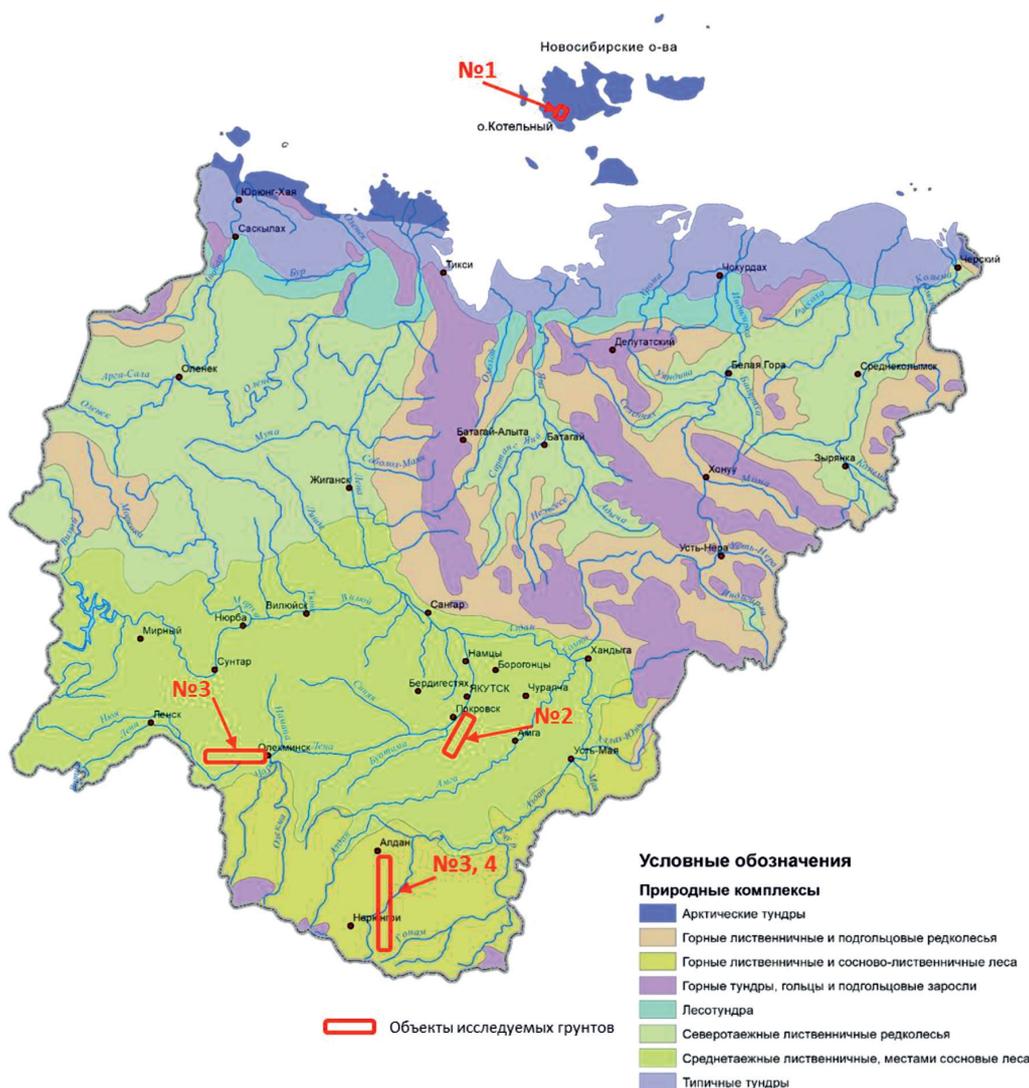


Рис. 1. Места отбора проб грунта на схематической карте Республики Саха (Якутия)

В табл. 1 приведены результаты определения гранулометрического состава исследованных грунтов ситовым и ареометрическим анализом [4–6].

Грунты классифицируются от слабольдистых до сильнольдистых. Криогенное стро-

ение образцов предварительно изучалось на макроуровне. Фрагменты некоторых из них показаны на рис. 2. Грунты по классу «шлировые» имеют слоистый и сетчатый тип криогенной текстуры, а песчаные грунты – массивную [7, 8].

Таблица 1

Гранулометрический состав грунтов

№ п/п	Содержание частиц разного размера в мм, %							Наименование грунта
	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
1	9,7	58,0	21,0	11,3	–	–	–	Песок средней крупности
2	6,7	33,5	45,4	14,4	–	–	–	Песок мелкий
3	1,5	9,8	24,7	21,8	20,6	15,7	5,9	Супесь песчанистая
4	–	2,6	16,7	19,8	31,0	16,3	13,6	Супесь пылеватая
5	1,0	7,6	13,9	25,6	28,6	14,2	9,1	Суглинок лёгкий песчанистый
6	–	4,5	8,9	21,3	38,9	17,6	8,8	Суглинок лёгкий пылеватый



а)



б)



в)



з)

Рис. 2. Некоторые фрагменты криогенных текстур песчаных (а) и глинистых (б, в, з) мёрзлых грунтов

Деформационные характеристики оттаивающих грунтов определялись по стандартной методике компрессионного сжатия на измерительно-вычислительном комплексе «АСИС» [9], разработанном научно-производственным предприятием «ГЕОТЕК». Образцы мёрзлого грунта для испытания вырезались из монолита по форме рабочего кольца при отрицательной температуре. Рабочее кольцо с образцом грунта помещалось в одометр и устанавливалось в устройство компрессионного сжатия [10], находящегося в холодильной камере, и выдерживалось перед испытанием при температуре грунта в массиве в течение 12 ч.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты определений физических и деформационных характеристик 293 об-

разцов естественного сложения приведены в табл. 2.

В табл. 2 приведены в числителе дробей минимальные значения, а в знаменателе – максимальные значения физических и деформационных характеристик грунтов.

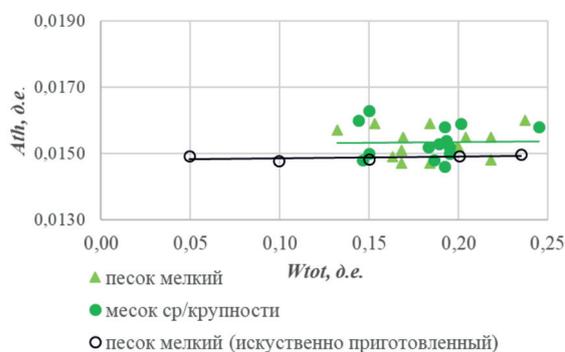
В диапазоне неполного насыщения пор водой (13,2–24,5%) коэффициенты оттаивания и сжимаемости песка естественного сложения мелкой и средней крупности, как и коэффициенты искусственных образцов песка, не изменяются (рис. 3). По величине эти коэффициенты практически совпадают.

Зависимости деформационных коэффициентов от пористости грунта так же, как и зависимости образцов искусственного изготовления, выражаются линейной функцией практически с одинаковыми параметрами (рис. 4 и 5).

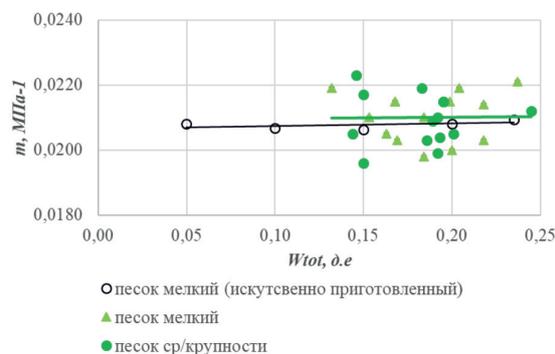
Таблица 2

Физические и деформационные характеристики исследованных грунтов

№ п/п	№ объекта	$W_{tot}, \%$	$n, \%$	$A_{от}, д.е.$	$m, МПа^{-1}$	Наименование грунта
1	1	32,0/78,6	50,74/70,57	0,111/0,163	0,062/0,086	Супесь пылеватая
2		30,0/75,0	47,73/70,11	0,134/0,199	0,069/0,105	Суглинок лёгкий пылеватый
3	2	20,9/42,1	40,74/57,41	0,089/0,147	0,047/0,065	Супесь пылеватая
4		28,1/73,0	47,60/69,74	0,119/0,201	0,067/0,104	Суглинок лёгкий пылеватый
5	3	13,2/23,7	39,1/39,85	0,0147/0,0160	0,0198/0,0221	Песок мелкий
6		14,4/24,5	39,85/40,6	0,0146/0,0163	0,0196/0,0223	Песок средней крупности
7		19,0/69,8	38,52/68,89	0,096/0,164	0,044/0,076	Супесь песчанистая
8		23,2/72,5	43,17/69,63	0,120/0,189	0,064/0,098	Суглинок лёгкий песчанистый
9		18,0/42,5	37,41/57,41	0,085/0,128	0,041/0,069	Супесь пылеватая
10		22,0/46,3	42,07/59,78	0,124/0,184	0,063/0,089	Суглинок лёгкий пылеватый
11	4	20,2/41,8	39,63/57,04	0,086/0,137	0,047/0,063	Супесь песчанистая
12		22,2/46,2	42,07/59,78	0,124/0,184	0,063/0,089	Суглинок лёгкий пылеватый



а)



б)

Рис. 3. Зависимость коэффициентов оттаивания (а) и сжимаемости (б) песка мелкой и средней крупности и искусственно приготовленного песка мелкого от суммарной влажности

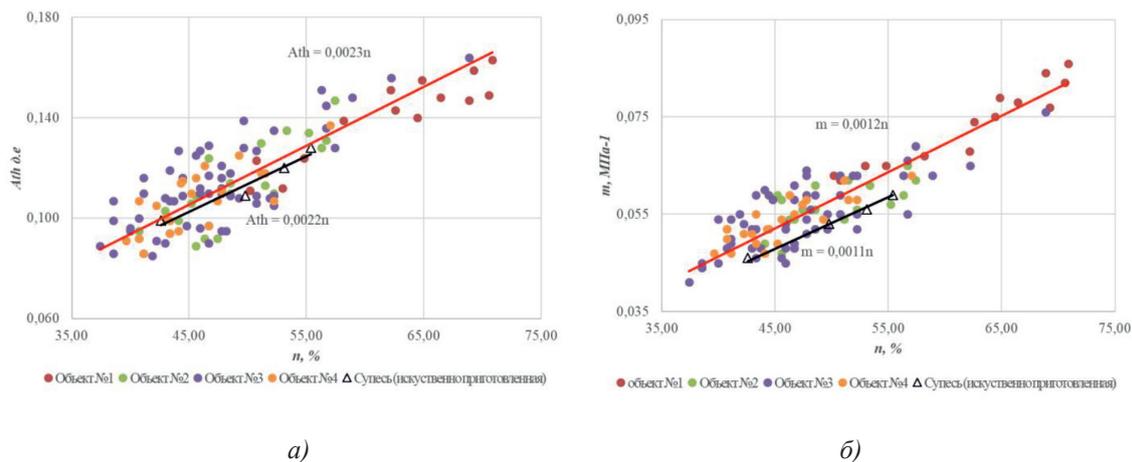


Рис. 4. Зависимость коэффициентов оттаивания (а) и сжимаемости (б) супеси пылевой и песчанистой и искусственно приготовленной супеси пылевой от пористости

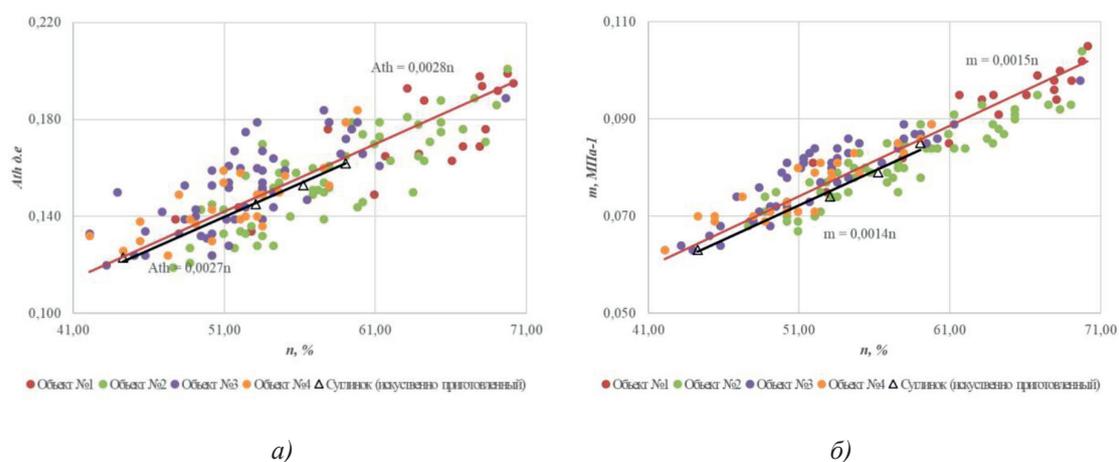


Рис. 5. Зависимость коэффициентов оттаивания (а) и сжимаемости (б) суглинка лёгкого песчанистого и лёгкого пылеватого и искусственно приготовленного суглинка лёгкого пылеватого от пористости

Таблица 3

Результаты статистической обработки деформационных характеристик грунтов

№ п/п	Наименование грунта	Характеристики	Корреляция, д.е.	
			A_{th}	m
1	Супесь	n	0,847	0,888
2	Суглинок		0,803	0,918

Коэффициенты оттаивания и сжимаемости естественных грунтов ненарушенного сложения выражаются линейными уравнениями:

1) для супесей пылеватых и песчанистых

$$A_{th} = 0,0023 \cdot n \text{ и } m = 0,0012 \cdot n;$$

2) для суглинков пылеватых и песчанистых

$$A_{th} = 0,0028 \cdot n \text{ и } m = 0,0015 \cdot n.$$

В табл. 3 приведены результаты корреляционного анализа полученных значений коэффициентов оттаивания и сжимаемости для двух типов исследованных грунтов.

Таким образом, испытания на компрессионное сжатие естественных и искусственных образцов показали, что деформационные характеристики их при оттаивании выражаются одними и теми же зависимостями от физических характеристик, при-

чём постоянные в этих зависимостях имеют практически одинаковые величины. Это открывает возможность изучать осадки мёрзлых грунтов при оттаивании на искусственно приготовленных образцах с заданными физическими характеристиками.

Заключение

Испытаниями в лабораторных условиях получено большое количество значений деформационных характеристик мёрзлых грунтов при оттаивании, образцы которых были отобраны с различных строительных площадок на обширной территории Якутии. Эти данные могут быть использованы для составления базы данных. Установлены зависимости их от физических характеристик грунтов. В качестве паспорта деформационных характеристик мёрзлых грунтов при оттаивании предлагается использовать зависимость их от пористости. Коэффициенты оттаивания и сжимаемости естественных грунтов ненарушенного сложения и образцов искусственного изготовления выражаются одинаковой зависимостью от их физических характеристик. Следовательно, осадки мёрзлых грунтов при оттаивании можно изучать на искусственно приготовленных образцах с заданными значениями физических характеристик.

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. 543 p. (in Russian).
2. Котов П.И. Обобщение деформационных характеристик оттаивающих грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2013. № 3. С. 23–26.
Kotov P.I. Codification of deformation characteristics of thawing soils. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2013. Vol. 50. № 3. P. 123–127. DOI: 10.1007/s11204-013-9222-z.
3. Вахрин И.С., Кузьмин Г.П. Деформационные характеристики искусственно приготовленных образцов мёрзлых грунтов при оттаивании // Успехи современного естествознания. 2020. № 7. С. 70–76. DOI: 10.17513/use.37434.
Vakhrin I.S., Kuzmin G.P. Thaw deformation characteristics of artificially prepared frozen soil samples // *Advances in current natural sciences*. 2020. № 7. P. 70–76 (in Russian).
4. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Стандартинформ, 2016. 23 с.
5. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: Межгосударственный стандарт, 2013. 63 с.
6. Трофимов В.Т., Вознесенский Е.А., Королёв В.А. Инженерная геология России. Т. 1. Грунты России: монография / Под ред. В.Т. Трофимова, Е.А. Вознесенского, В.А. Королёва. М.: КДУ, 2011. 672 с.
Trofimov V.T., Voznesensky E.A., Korolev V.A. *Engineering Geology of Russia. Volume 1. Soils of Russia: Monograph* / Pod red. V.T. Trofimova, Ye.A. Voznesenskogo, V.A. Koroleva. M.: KDU, 2011. 672 p. (in Russian).
7. Ершов Э.Д. Лабораторные методы исследования мёрзлых пород. М.: Изд. МГУ, 1985. 350 с.
Ershov E.D. *Laboratory Methods for the Study of Frozen Rocks*. M.: Izd. MGU, 1985. 350 p. (in Russian).
8. Шестернёв Д.М. Физика, химия и механика мёрзлых грунтов: учеб. пособие. Чита: Изд. Поиск, 2012. 332 с.
Shesternev D.M. *Physics, Chemistry and Mechanics of Frozen Soils: a textbook*. Chita: Izd. Poisk, 2012. 332 p. (in Russian).
9. Болдырев Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов с комментариями к ГОСТ 12248-2010: монография. 2-е изд., доп. и испр. М.: ООО Прондо, 2014. 812 с.
Boldyrev G.G. *Methods for Determining the Mechanical Properties of Soils with Comments to GOST 12248-2010*. 2nd ed., updated. M.: ООО Prondo, 2014. 812 p. (in Russian).
10. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М.: МНТКС, 2011. 162 с.

УДК 581.526.53:581.55:528.88

ХАРАКТЕРИСТИКА СТЕПНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЗАСУШЛИВЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Жарникова М.А.

Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ, e-mail: zharnikova@binm.ru

Изменение климата и антропогенное воздействие способствуют нарушению экосистемной устойчивости, что приводит к снижению биоразнообразия, потере местных ресурсов и снижению уровня жизни населения. Степная растительность как чувствительный, динамичный и быстро реагирующий на изменения окружающей среды компонент занимает важное место в исследовании этих процессов, выступая в качестве индикатора состояния и динамики ландшафтов. В представленной работе использован комплексный подход к анализу степных растительных сообществ, подразумевающий взаимосвязанные этапы изучения растительности. На основе геоботанических описаний оценено современное фитоценоотическое разнообразие растительности исследуемой территории. Оно представлено 5 флороцено типами растительности, включающими коренные сообщества, адаптированные к современным природным условиям, и производные сообщества, сформировавшиеся под воздействием антропогенных факторов. Проведен ординационный анализ степных растительных сообществ, позволяющий определить экологические факторы, влияющие на дифференциацию степной растительности: аридность климата и степень литофильности. На основе синтеза данных, получаемых от систем мониторинга трех уровней – наземного, авиационного и космического, установлены закономерности пространственного распределения степных сообществ и дана характеристика их экотопической приуроченности. Полученные в результате проведенного анализа данные позволили выявить некоторые присущие степным сообществам закономерности, а также установить связь распределения растительности в соответствии с природными особенностями территории. На изучаемой территории в условиях засушливого климата отмечены изменения в составе жизненных форм и эдификаторов-ценозообразователей, выражающиеся в сокращении, а затем и в полном выпадении роли дерновинных злаков, внедрении сорных видов, приводящие к трансформации растительных сообществ.

Ключевые слова: степи, фитоценоотическое разнообразие, ординация, пространственная структура, Центральная Азия

CHARACTERISTICS OF THE STEPPE VEGETATION OF ARID TERRITORIES OF CENTRAL ASIA

Zharnikova M.A.

Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Ulan-Ude, e-mail: zharnikova@binm.ru

Climate change and anthropogenic impacts contribute to the disruption of ecosystem stability, which leads to a decrease in biodiversity, loss of local resources and a decrease in the living standards of the population. Steppe vegetation, as a sensitive, dynamic and rapidly responding to environmental changes component, occupies an important place in the study of these processes, acting as an indicator of the state and dynamics of landscapes. In the presented work, an integrated approach to the analysis of steppe plant communities is used, which implies interrelated stages in the study of vegetation. On the basis of geobotanical descriptions, the current phytocoenotic diversity of vegetation in the study area was estimated. It is represented by 5 flora cenotypes of vegetation, including indigenous communities adapted to modern natural conditions, and derivative communities formed under the influence of anthropogenic factors. An ordination analysis of steppe plant communities has been carried out, which makes it possible to determine the ecological factors influencing the differentiation of steppe vegetation: climate aridity and the degree of lithophilicity. Based on the synthesis of data obtained from monitoring systems of three levels – ground, aviation and space, the regularities of the spatial distribution of steppe communities are established and a characteristic of their ecotopic confinement is given. The data obtained as a result of the analysis made it possible to identify some patterns inherent in steppe communities, as well as to establish a relationship between the distribution of vegetation in accordance with the natural features of the territory. In the study area, under conditions of an arid climate, changes were noted in the composition of life forms and edifiers-cenose-forming agents, expressed in the reduction and then in the complete loss of the role of turf grasses, the introduction of weed species, leading to the transformation of plant communities.

Keywords: steppes, phytocoenotic diversity, ordination, spatial structure, Central Asia

Трансформация растительного покрова под влиянием природных и антропогенных факторов является фундаментальной проблемой, требующей комплексного подхода к ее решению. Степные экосистемы, составляющие основную земледельческую зону и кормовую базу в засушливых и полусушливых регионах, в последнее время претерпели значительные изменения в условиях аридизации климата и усиления пастбищной нагрузки [1–3]. Выявление качественных и количественных показателей

таких изменений возможно при мониторинге, который включает изучение видового состава, фитоценоотического разнообразия, экологической приуроченности ценозов, анализ их пространственного распределения, а также определение направленности основных процессов. Кроме того, оценка состояния степных сообществ, происходящих в них изменений и выявление современных тенденций представляют интерес с научно-практической позиции изучения степей и необходимы при составлении эко-

логического прогноза, разработке научно обоснованной системы мероприятий и рекомендаций по их использованию [4].

Целями исследования являются изучение степных экосистем засушливых регионов Центральной Азии, их пространственный анализ и оценка современного состояния на основе комплексных дистанционных и наземных данных.

Материалы и методы исследования

В основу работы вошли материалы, полученные на 5 модельных полигонах в ходе экспедиционных исследований с 2015 по 2019 гг. (таблица). Все эти объекты были выбраны в пределах Байкало-Гобийского субмеридионального трансекта, который представляет собой полосу с севера на юг шириной около 150 км и длиной 600 км (52–45° с.ш., 105–108° в.д.). Территория исследования находится на территории России и Монголии на главном водоразделе Азиатского континента, разделяющем водосборные бассейны Северного Ледовитого и Тихого океанов, а также область внутриматерикового стока Центральной Азии. Трансект проходит по территории Западного Забайкалья и северной части Монгольского плато, охватывая по степени увлажнения различные климатические зоны: сухую субгумидную, семиаридную и аридную.

При проведении полевых работ использованы стандартные методы геобота-

нических исследований [7]. Общее количество полных геоботанических описаний, выполненных на всех полигонах, составляет 265. Для их обработки и хранения применены программное обеспечение и база данных IBIS [8]. В ряде случаев для анализа и визуализации результатов, помимо пакета Microsoft Office, использован пакет PAST. Для выявления фитоценотического разнообразия и построения классификационной схемы осуществлен эколого-фитоценотический доминантно-детерминантный подход. В качестве основных таксономических единиц классификации приняты следующие: ассоциация, формация, флороценотип и эколого-исторический ряд.

Выделение флороценоципов осуществлено в ходе сравнительного анализа ценофлор. Формация объединяет растительные сообщества с одинаковым видовым набором доминантов. К одной ассоциации отнесены сообщества с общим видовым составом доминантов и детерминантов, а также со сходной структурой. В целях сопряженного анализа структуры сообществ и экологических условий проведен анализ непрямой ординации методом взаимного усреднения – Detrended correspondence analysis (DCA-ординация) – для определения экологически значимых факторов среды, отвечающих за разнообразие и структуру растительности исследуемой территории.

Основные характеристики географического расположения модельных полигонов

№	Модельные полигоны	Координаты		Абсолютные высоты, м над у.м.	Положение в системе физико-географического районирования (провинция)	Положение в системе ботанико-географического районирования (провинции / подпровинции)
		широта	долгота			
1	Улан-Удэ (РФ)	51°43' 51°42'	107°30' 107°30'	570–730	Хилокско-Чикойская горнотаежно-котловинная остепненная	Алтае-Саянская / Южно-Бурятский округ
2	Гусиноозерск (РФ)	51°09' 51°06'	106°30' 106°30'	680–760	Селенгинско-Орхонская котловинно-среднегорная остепненная	Хангайско-Даурская горнолесостепная / Орхон-Нижнеселенгинская горнолесостепная
3	Дархан (Монголия)	49°28' 49°24'	105°50' 105°51'	700–900	Селенгинско-Орхонская котловинно-среднегорная остепненная	Хангайско-Даурская горнолесостепная / Орхон-Нижнеселенгинская горнолесостепная
4	Дзун-Мод (Монголия)	47°40' 47°38'	107°11' 107°08'	1570–1700	Онон-Хэнгэйская котловинно-горнотаежная	Монгольская степная / Среднехалхаская степная
5	Мандалгови (Монголия)	45°42' 45°38'	106°18' 106°13'	1320–1370	Центральномонгольская среднегорная возвышенно-равнинная котловинная сухостепная полупустынная	Северогобийская пустынно-степная / Северо-Восточногобийская пустынно-степная

Примечание. *Названия провинций и подпровинций даны по картам природного и физико-географического районирования [5], ботанико-географического районирования [6].

Основными методами картографирования являлись анализ и дешифрирование космических снимков, материалов аэрофотосъемки, тематических карт и соотнесение их с данными натурных исследований и литературных источников. Объем основной картируемой единицы – растительной ассоциации – совпадает с основной наименьшей единицей классификации.

Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), использованные в работе, включают космические снимки спутников линейки Landsat (сенсоры TM, ETM+, OLI) с пространственным разрешением 30 м. Для анализа экологической приуроченности степей использованы цифровые модели рельефа на базе радарной топографической съемки SRTM и аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Аэрофотосъемка в видимой области спектра выполнялась при помощи радиоуправляемого БПЛА DJI Mavic Pro, снабженного видеокамерой высокого разрешения. В качестве программного обеспечения для обработки данных ДЗЗ применены ArcMap, Agisoft Photoscan и ENVI.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате исследования степных сообществ модельных полигонов выявлено их фитоценотическое разнообразие, которое представлено 5 флороцено типами, один из которых является антропогенно-обусловленным (залежная растительность), остальные – луговые, настоящие, горные, пустынные степи – представлены тремя эколого-историческими рядами. В разделении центральноазиатских степей на синтаксоны мы следуем современным отечественным обобщениям, представленным в последних работах по степному типу растительности [9–11]. Полученная классификационная схема отражает современное фитоценотическое разнообразие территории, представленное коренными сообществами, адаптированными к современным природным условиям, и производными сообществами, сформировавшимися под воздействием антропогенных факторов (рис. 1).

Ценофлору луговых степей образуют ценозы разнотравных лугово-степных и закустаренных степей, представленных на полигоне «Улан-Удэ». Настоящие сухие дерновиннозлаковые степи, являющиеся зональными для пограничных территорий Южной Сибири и Северной Монголии,

наиболее широко представлены на полигонах «Гусиноозерск» и «Дархан». Они объединяют близкие формации ковыльных степей, включая и их переменные состояния, возникшие в результате интенсивного пастбищного использования. Это вторичные степи, на которых сказывается воздействие выпаса, о чем свидетельствует разрастание в составе травостоя *Artemisia frigida* и *Carex duriuscula* со значительным участием *Caragana microphylla*. На модельном полигоне «Дархан» из-за интенсивной пастбищной нагрузки видовой состав формаций отличается от естественных злаковых степей, на месте которых они появляются, изреживанием или полным выпадением дерновинных злаков и увеличением взамен их числа сорных растений. На модельном полигоне «Улан-Удэ» настоящие степи представлены более петрофитными вариантами. На вершинах гряд и выпуклых склонов различной экспозиции обычно присутствуют низкотравные петрофитные степи. На крупнокаменистых, преимущественно южных склонах встречаются кустарниковые каменистые степи. Растительность модельного полигона «Дзун-Мод» образована ценозами, отличающимися особенностями высотного распределения, – горными степями. Своеобразие ценофлорам этих степей придает присутствие горностепных видов, которые относятся к самобытным жизненным формам – подушковидным и розеточным стержнекорневым поликарпикам (*Potentilla sericea*, *Eremogone meyeri*, *Filifolium sibiricum* и др.). Пустынные степи, описанные в аридной зоне на полигоне «Мандалгови», характеризуются своеобразным набором эдификаторов: наиболее обильны мелкодерновинные злаки *Stipa glareosa*, *Cleistogenes songorica* со значительным участием полукустарничковых солянок – *Reaumuria songarica*, *Salsola passerina*, *Anabasis brevifolia*. Особенностью пустынных степей является доминирование в ряде сообществ дерновинного лука – *Allium polyrrhizum*. На российской части рассматриваемой территории в результате выбытия земельных угодий из сельскохозяйственного оборота значительные площади в настоящее время находятся на разных стадиях зацеленения. Сообщества этих стадий имеют отличительные особенности во флористическом составе и структуре. В составе данной группы нами выделены 3 формации, характеризующие 3 стадии: бурьянистая, рыхлодерновинная и корневищная.

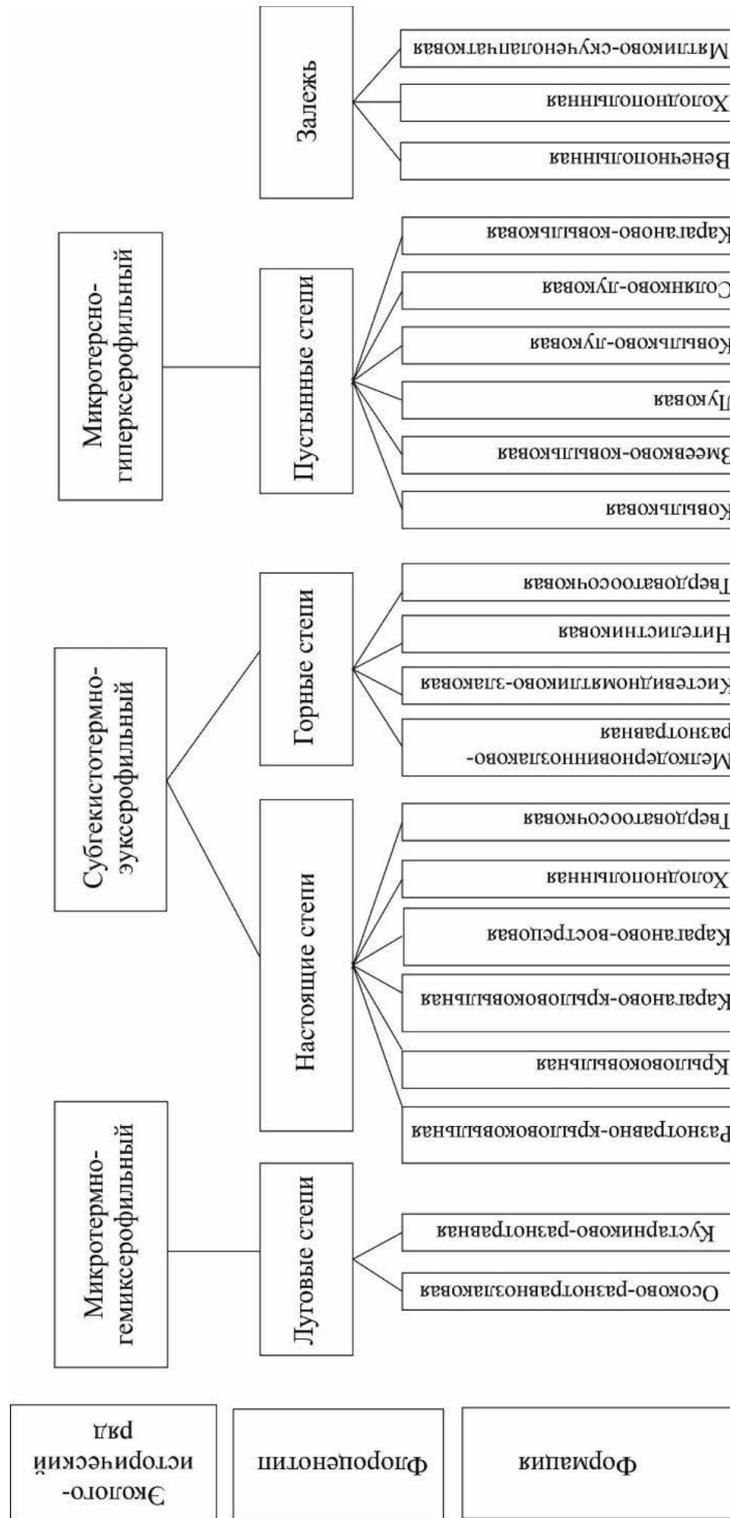


Рис. 1. Схема классификации растительности степных экосистем

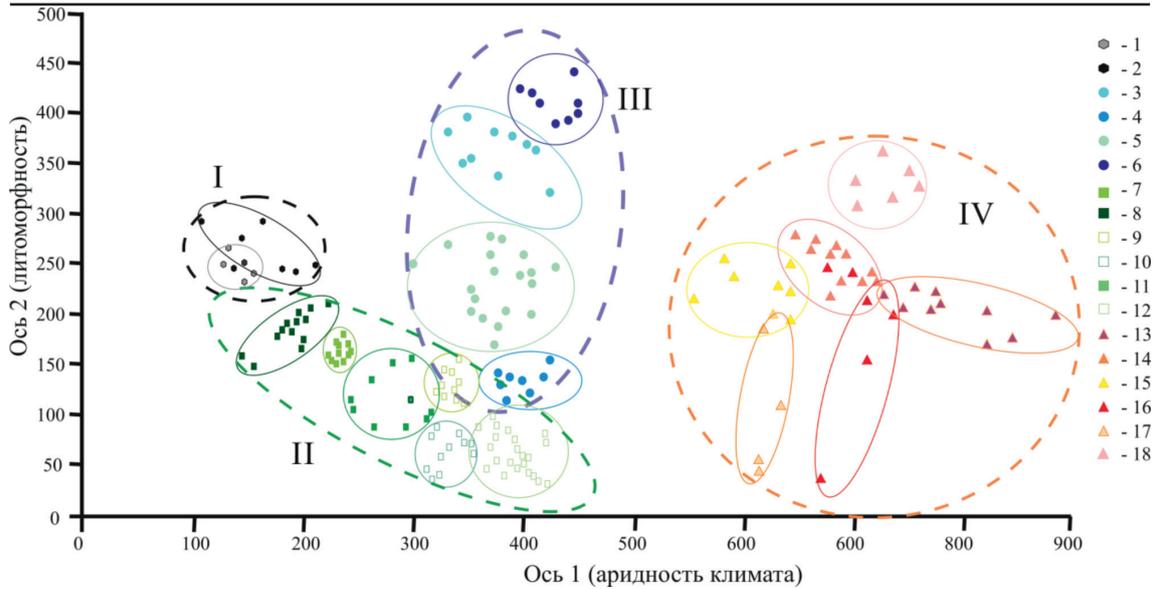


Рис. 2. DCA-ординация ценофлор степных сообществ территории исследования Римскими цифрами и пунктирными линиями обозначены группы флороцено типов: I – луговые степи, II – настоящие степи, III – горные степи, IV – пустынные степи. Сплошными линиями обозначены формации: 1 – осоково-разнотравная, 2 – кустарниково-разнотравная, 3 – нителлистниковая, 4 – твердоватоосочковая, 5 – мелкодерновиннозлаково-разнотравная, 6 – кистевидномятликово-злаковая, 7 – крыловоковыльная, 8 – разнотравно-крыловоковыльная, 9 – караганово-вострецовая, 10 – холоднополюнная, 11 – караганово-крыловоковыльная, 12 – твердоватоосочковая, 13 – ковыльковая, 14 – змеевково-ковыльковая, 15 – луговая, 16 – ковыльково-луговая, 17 – солянково-луговая, 18 – караганово-ковыльковая

Для оценки связи растительности с экологическими факторами среды проведена непрямая DCA-ординация выделенных синтаксонов. В отличие от прямой ординации, где оценивается изменение видового состава вдоль выбранного и определенного исследователем экологического фактора, непрямая ординация упорядочивает объекты вдоль некоторой абстрактной оси с безразмерными единицами измерения, требующей в дальнейшем интерпретации. Из рис. 2 видно, что в пространстве двух осей ординации сформировалось несколько достаточно выраженных групп, которые представляют разные типы степной растительности, различающиеся по экологии и флористическому составу, интерпретированные в ранге флороцено типов и формаций (рис. 2). Вдоль оси абсцисс наблюдается последовательное замещение степных сообществ от луговых степей на северном полигоне «Улан-Удэ» до пустынных степей южного полигона «Мандалгови». Очевидно, что экологическим фактором, обуславливающим выявленный порядок групп, является аридность климата. Ось ординат отражает распределение ценофлор по сте-

пени литоморфности (от мощных супесчаных до маломощных щебнистых). В первую группу объединены мезофитные луговые и кустарниковые сообщества, распространенные на высотах 650–730 м, на каменисто-щебнистом или мелкоземном субстрате, в зоне недостаточного и временно избыточного увлажнения. Вторую группу сформировали сообщества настоящих сухих степей с преобладанием *Stipa krylovii*, распространенные на высотах 700–800 м на средне- и относительно мощных супесчаных почвах – темно-каштановых. Сюда же входят сообщества настоящих степей интенсивного пастбищного использования, которые тяготеют к супесчаным почвам. Сообщества этой группы находятся в зоне периодически недостаточного увлажнения. Третью группу составляют горностепные сообщества, формирующиеся в условиях увлажнения, схожих с условиями настоящих степей, но расположенных выше – в диапазоне высот 1500–1600 м, на мелкоземных и каштановых маломощных щебнистых почвах, в зоне умеренно малоувлажненной, холодной и длительно промерзающей. Четвертая группа объединяет сообщества пу-

стынных степей. Сообщества этой группы распространены в аридной зоне на высотах от 1300 до 1400 м, на бурых щебнистых и засоленных почвах с недостаточным увлажнением.

Наряду с фитоценотической классификацией проведен анализ пространственного распределения степных сообществ на основе трехуровневой системы мониторинга: спутник – БПЛА – наземные данные. Использование такой последовательности в нашем исследовании позволило на спутниковом уровне обеспечить охват территории, а аэрофотоснимки с высоким пространственным разрешением и наземные исследования дали возможность детализировать содержание карт. Проведен анализ экотопической приуроченности степных сообществ по характеристикам элементов рельефа (высоты местности над уровнем моря, экспозиции и крутизны склона), полученным также из системы трехуровневого мониторинга. На основе прямых инструментальных измерений характеристик рельефа построены «модели сопки», отражающие дифференциацию растительности в зависимости от элементов рельефа с учетом высоты [12].

Выявленная пространственная структура растительности исследуемой территории представлена как однородными фитоценозами, так и различными их комбинациями разного уровня сложности (комплексами, сочетаниями, экологическими рядами). Структура растительного покрова связана в первую очередь с явлениями зональности, а также с вертикальной поясностью. Существенное влияние на дифференциацию растительности оказывает орография. С севера на юг – от среднегорного рельефа Южной Сибири до равнин Центральной Азии пустынностепного пояса – происходит упрощение пространственной структуры. Расчлененный горный рельеф способствует неоднородности распространения фитоценозов, их мозаичности (модельные полигоны «Улан-Удэ», «Гусиное», «Дархан», «Дзун-Мод»). Гомогенный растительный покров преимущественно приурочен к выположенным склонам незначительной крутизны до 5° и межсопочным долинам. Наиболее сложная пространственная структура характерна для склонов южных экспозиций, где наряду с преобладанием гомогенных выделов значительные позиции занимают гетерогенные единицы – преимущественно 2–3 компонентных сочетания и комплексы. Равнинные части и склоны

южной экспозиции занимают сухие дерновиннозлаковые сообщества степей. На вершинах гряд, в зоне проявления выходов коренных пород, и на выпуклых щебнистых участках склонов формируются злаковые степи с участием кустарников. Более крутые склоны с эпизодическими выходами коренных пород занимают петрофитные сообщества. Разнотравные дерновиннозлаковые степи занимают преимущественно позиции на более увлажненных склонах северо-западных экспозиций. Также на склонах наблюдаются экспозиционные сочетания растительности эрозионных ложбин и балок. В структуре растительного покрова пустынностепного пояса (модельный полигон «Мандалгови») преобладают мезокомбинации, формирующиеся в условиях простых форм рельефа и занимающие значительно протяженные территории в горизонтальном (десятки и сотни метров) и вертикальном (от одного до десятков метров) направлениях. Сообщества характеризуются плавными сменами, образующими континуум с «размытыми» границами. Для засоленных депрессий характерны микрокомбинации и экологические ряды, связанные с изменениями водного режима и мощностью накопления озерных отложений дна котловины и временных водотоков.

Заключение

В результате комплексного анализа выявлены современное состояние и пространственное распределение степных сообществ исследуемой территории. Классификационное построение позволило выявить фитоценотическое разнообразие исследуемых участков. Растительность исследуемых полигонов представлена 5 флороцено типами: от луговых степей с разнотравно-злаковыми фитоценозами на севере трансекта до пустынных степей с преобладанием мелкодерновинных злаков в южной части. В современном растительном покрове коренные ассоциации фактически не сохранились, на их месте встречаются различные производные сообщества, возникшие в процессе хозяйственной деятельности человека. Экологическая ординация и сравнительный анализ ценофлор формаций обосновывают типологическую разобщенность степных сообществ и эколого-ценотическую специфичность ценозов. При пространственном анализе выявлено, что в одних случаях на одних и тех же формах рельефа развиваются сообщества разных формаций, в других – на разных формах рельефа форми-

руются сообщества, относящиеся к одной группе формаций, поскольку мощная средообразующая роль пустынно-степных сообществ нивелирует индикаторную роль мезорельефа.

Работа выполнена в рамках государственного задания БИП СО РАН и при частичной поддержке грантов РФФИ № 19-55-53026, № 18-55-91047.

Список литературы / References

1. Бажа С.Н., Данжалова Е.В., Дробышев Ю.И., Хадбаатар С. Трансформация наземных экосистем южной части бассейна Байкала. М.: КМК, 2018. 402 с.

Bazha S.N., Danzhalova E.V., Drobyshev Yu.I., Hadbaatar S. Transformation of terrestrial ecosystems in the southern part of the Baikal basin. M.: KMK, 2018. 402 p. (in Russian).

2. Петухов И.А., Бажа С.Н., Данжалова Е.В., Дробышев Ю.И., Сыртыпова С.Х.Д., Богданов Е.А., Энх-Амгалан С., Гунин П.Д. Многолетняя динамика состояния пастбищных экосистем в экотонной зоне сухих и пустынных степей Центральной Монголии (Среднеобьский аймак) // Экосистемы: экология и динамика. 2018. Т. 2. № 2. С. 5–39. DOI: 10.24411/2542-2006-2018-10007.

Petukhov I.A., Bazha S.N., Danzhalova E.V., Drobyshev Yu.I., Syrtylova S.Kh.D., Bogdanov E.A., Enkh-Amgalan S., Gunin P.D. Long-term dynamics of pasture ecosystems' condition along the ecotone zone of dry and desert steppes of Central Mongolia (Dundgovi province) // Ekosistem: ekologiya i dinamika. 2018. V. 2. № 2. P. 5–39 (in Russian).

3. Гунин П.Д., Бажа С.Н., Данжалова Е.В., Дробышев Ю.И., Иванов Л.А., Иванова Л.А., Казанцева Т.И., Мигалина С.В., Микляева И.М., Ронжина Д.А., Ариунболд Э., Хадбаатар С., Цоож Ш., Цэрэнханд Г. Региональные особенности процессов опустынивания экосистем на границе бассейна Байкала и Центральноазиатского бессточного бассейна // Аридные экосистемы. 2015. Т. 21. № 3(64). С. 5–22.

Gunin P.D., Bazha S.N., Danzhalova E.V., Drobyshev Yu.I., Ivanov L.A., Ivanova L.A., Migalina S.V., Ronzhina D.A., Kazantseva T.I., Miklyaeva I.M., Ariunbold E., Tsooj S., Tserenkhand G., Khadbaatar S. Regional features of desertification processes of ecosystems on the border of the Baikal basin and Central Asian internal drainage basin. Arid Ecosystems. 2015. Vol. 5. No. 3. P. 117–133. DOI: 10.1134/S2079096115030063.

4. Огуреева Г.Н., Жаргалсайхан Л., Каримова Т.Ю., Микляева И.М. Изменение ботанического разнообразия разнотравно-дерновиннозлаковых степей Восточной Монголии

за одиннадцатилетний период (2008–2018 гг.) // Аридные экосистемы. 2019. Т. 25. № 4(81). С. 52–60.

Ogureeva G.N., Zhargalsaikhan L., Karimova T.Yu., Miklyaeva I.M. Changes of botanical diversity of mixed and sod grass steppes of Eastern Mongolia in 11 years (2008–2018) // Aridnyye ekosistemy. 2019. T. 25. № 4(81). P. 52–60 (in Russian).

5. Экологический атлас бассейна оз. Байкал. Иркутск: Изд. Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. 145 с.

Ecological atlas of the lake. Baikal. Irkutsk: Izd. Instituta geografii im. V.B. Sochavy SO RAN, 2015. 145 p. (in Russian).

6. Лавренко Е.М., Карамышева З.В., Никулина Р.И. Степи Евразии. Л.: Наука, 1991. 146 с.

Lavrenko E.M., Karamy'sheva Z.V., Nikulina R.I. Steppes of Eurasia. L.: Nauka, 1991. 146 p. (in Russian).

7. Полевая геоботаника. Т.3. М.-Л.: Наука, 1964. 530 с.

Field geobotany. T.3. M.-L.: Nauka, 1964. 530 p. (in Russian).

8. Зверев А.А. Информационные технологии в исследованиях растительного покрова: учеб. пособие. Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. 304 с.

Zverev A.A. Information technology in vegetation research: ucheb. posobie. Tomsk: TML-Press, 2007. 304 p. (in Russian).

9. Дамбиев Э.Ц., Намзалов Б.Б., Холбоева С.А., Валова Е.Э. Региональная геоэкология: агроландшафты степей Бурятии: учеб. пособие. Улан-Удэ: Бурятский государственный университет, 2013. 182 с.

Dambiev E.C., Namzalov B.B., Holboeva S.A., Valova E.E. Regional geoecology: agrolandscapes of the steppes of Buryatia: ucheb. posobie. Ulan-Ude: Buryatskij gosudarstvennyj universitet, 2013. 182 p. (in Russian).

10. Холбоева С.А., Намзалов Б.Б. Основы степеведения. Улан-Удэ: Бурятский государственный университет, 2010. 112 с.

Holboeva S.A., Namzalov B.B. Basics of steppe studies. Ulan-Ude: Buryatskij gosudarstvennyj universitet, 2010. 112 p. (in Russian).

11. Королюк А.Ю. Синтаксономия степной растительности Республики Бурятия // Растительность России. 2017. № 31. С. 3–32. DOI: 10.31111/vegus/2017.31.3.

Korolyuk A. Yu. Syntaxonomy of steppe vegetation of the Republic of Buryatia // Rastitel'nost' Rossii. 2017. № 31. P. 3–32 (in Russian).

12. Zharnikova M.A., Alymbaeva Zh.B., Sodnomov B.V., Ayurzhanayev A.A. The experience of developing large-scale geobotanical maps based on field and remote sensing data. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 320. No. 1. 012027. DOI: 10.1088/1755-1315/320/1/012027.

УДК 911.3:332.1(470.57)

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДДЕРЖКИ МАЛОГО И СРЕДНЕГО
ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В ГОРОДАХ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН****Закиров И.В., Сабирова Л.Ф.***ФГБОУ ВО Башкирский государственный университет, Уфа,
e-mail: ziv7702@yandex.ru, googl102mail@gmail.com*

Предпринимательская деятельность является одним из важнейших элементов рыночной системы, без которого существование и развитие экономики отдельных городов и всей страны в целом будут невозможными. Для любого развитого государства малые и средние предприятия служат двигателями экономической системы в силу своего широкого охвата видов деятельности и гибкой формы деловой жизни. Предпринимательство представляет собой часть современной жизни человека, которая изменялась и трансформировалась на протяжении всей человеческой истории. Причем сущность и содержание предпринимательства всегда соответствовали текущей социально-экономической обстановке, его политическому строю и тому или иному ментальному поведению. Потому представители тех или иных эпох давали всегда свои определения предпринимательству и собственно самому предпринимателю. Во все времена фундаментом финансового становления считалось формирование малого и среднего бизнеса. Как показывают история и опыт, в улучшении экономического состояния страны и увеличении благосостояния его граждан огромную роль играет становление малого и среднего бизнеса. В статье рассмотрены содержание, формы государственной поддержки малого и среднего предпринимательства в городах Республики Башкортостан. Проанализировано современное состояние малого и среднего бизнеса в Республике, охарактеризованы программы поддержки малого бизнеса. Оценены предпринимательские инициативы населения в трех городах Республики Башкортостан путем опроса жителей данных городов. По результатам опроса выявлены отношение респондентов к организации собственного дела и основные препятствия для реализации собственных бизнес-идей. Даны рекомендации для совершенствования системы поддержки малого и среднего предпринимательства в городах Республики Башкортостан.

Ключевые слова: малое и среднее предпринимательство, государственная поддержка, территориальная организация, город, бизнес, предприниматель, экономика

**IMPROVING SUPPORT FOR SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES
IN THE CITIES OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN****Zakirov I.V., Sabirova L.F.***Bashkir State University, Ufa, e-mail: ziv7702@yandex.ru, googl102mail@gmail.com*

Entrepreneurial activity is one of the most important elements of the market system, without which the existence and development of the economy of individual cities and the entire country as a whole will be impossible. For any developed country, small and medium-sized enterprises are the engines of the economic system, due to their wide range of activities and flexible form of business life. Entrepreneurship is a part of modern human life that has changed and transformed throughout human history. Moreover, the essence and content of entrepreneurship has always corresponded to the current socio-economic situation, its political system and this or that mental behavior. Therefore, representatives of certain eras have always given their definitions to entrepreneurship and the entrepreneur himself. At all times, the formation of small and medium-sized businesses was considered the foundation of financial development. As history and experience show, the formation of small and medium-sized businesses plays a huge role in improving the economic condition of the country and increasing the well-being of its citizens. The article examines the content, forms of state support for small and medium-sized businesses in the cities of the Republic of Bashkortostan. The current state of small and medium-sized businesses in the republic has been analyzed, and programs to support small businesses have been characterized. The entrepreneurial initiatives of the population in three cities of the Republic of Bashkortostan were evaluated by interviewing residents of these cities. According to the results of the survey, the attitude of respondents to the organization of their own business and the main obstacles to the implementation of their own business ideas were revealed. Recommendations are given for improving the support system for small and medium-sized enterprises in the cities of the Republic of Bashkortostan.

Keywords: small and medium enterprises, state support, territorial organization, city, business, entrepreneur, economy

Неотъемлемым элементом рыночной экономики, безусловно, является малое и среднее предпринимательство (МСП), без которого не могут существовать и развиваться экономика страны и общество в целом. В силу своей массовости представители малого и среднего предпринимательства образуют наиболее значимый слой частных собственников и играют немаловажную роль в политической и социально-экономической жизни государства.

Внедряя инновационные, нестандартные решения и подходы в различные сферы деятельности человека, в экономические отношения, предпринимательство занимает особое место. Оно позволяет увеличить численность среднего класса, который в России не столь многочисленный, как слой бедных. Это подтверждает важность развития предпринимательства в нашей стране. Определенно, взаимодействия властных структур и предпринима-

тельства должны быть как можно более простыми и действенными, и на данный момент необходима разработка эффективных способов и направлений в реализации наиболее продуктивных способов развития общих интересов. Поэтому исследования в данной области актуальны на современном этапе.

Цель исследования: изучение и разработка предложений по совершенствованию системы поддержки малого и среднего предпринимательства в городах Республики Башкортостан и других городах Российской Федерации.

Материалы и методы исследования

Материалами для исследования послужили основные нормативно-правовые акты, книги, постановления и статистические дан-

рентоспособности государства. Для создания эффективной системы МСБ требуются научные изыскания с целью выявления закономерностей развития малых и средних предприятий. Имеется ряд публикаций, посвященных экономике малого и среднего предпринимательства в Республике Башкортостан [1, 2], а также на других региональных уровнях [3–5].

В соответствии со статьей 2 Гражданского кодекса Российской Федерации «Предпринимательская деятельность – независимая осуществляемая на свой риск работа, направленная на систематическое получение прибыли от пользования имуществом, продажи товаров, выполнения работ или оказания услуг» [6]. Характеристика критериев отнесения бизнеса к определенному типу приведена в табл. 1.

Таблица 1

Критерии отнесения бизнеса к определенному виду предприятия [7]

Субъект малого и среднего предпринимательства	Средняя численность работников за предшествующий календарный год	Выручка от реализации без учета НДС за предшествующий календарный год	Доля сторонних организаций в уставном капитале компании
Микропредприятие	Не более 15 человек	120 млн руб.	Не более 25%
Малое предприятие	Не более 100 человек	800 млн руб.	Не более 25%
Среднее предприятие	От 101 до 250 человек включительно	2 млрд руб.	Не более 25%

ные. Методами, применяемыми в ходе исследований, явились методы анализа, наблюдения и синтеза, сбора, обобщения, а также систематизация имеющихся данных. Для оценки предпринимательской инициативы населения в городах Республики Башкортостан был выбран метод анкетирования, который активно применяется при экономико-географических, социально-экономических, социологических исследованиях.

Результаты исследования и их обсуждение

Малый и средний бизнес (МСБ) играет одну из ключевых ролей в развитии экономики страны. С принятия в 1987 г. Закона «Об индивидуальной трудовой деятельности» в России началось возрождение частного предпринимательства, данный Закон сформулировал основы формирования предпринимательства и определил новые задачи для частного бизнеса.

С исторической точки зрения Россия находится на начальном этапе развития рыночных отношений, создание и развитие сектора МСП обеспечат стране стабильный рост и станут отправной точкой в конку-

В соответствии с Законом от 24 июля 2007 г. № 209-ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» к субъектам МСП в Российской Федерации относятся хозяйствующие субъекты – юридические лица и индивидуальные предприниматели, внесенные в Единый государственный реестр юридических лиц, потребительские кооперативы и коммерческие организации (за исключением государственных и муниципальных унитарных предприятий), а также физические лица, внесенные в Единый государственный реестр индивидуальных предпринимателей и осуществляющие предпринимательскую деятельность без образования юридического лица, крестьянские (фермерские) хозяйства, соответствующие вышеперечисленным условиям [7].

В Республике Башкортостан (РБ) относительно высок уровень развития малого и среднего предпринимательства. По количественным показателям деятельности МСП РБ занимает одно из ведущих мест среди субъектов Российской Федерации. Однако имеется необходимость повышения эффективности функционирования систе-

мы МСП. Например, при доле Республики от общероссийских показателей в численности населения 2,8% удельный вес РБ в средней численности работников МСП составляет 2,7%, в количестве малых предприятий – 1,9%, в обороте малых предприятий России – 1,5% (табл. 2).

Государственная поддержка малого и среднего предпринимательства в городах Республики Башкортостан ведется на разных иерархических уровнях:

– на федеральном уровне: государственная поддержка малого и среднего предпринимательства, самостоятельным направлением которой является создание специальных льготных режимов осуществления государственного регулирования предпринимательской деятельности, в том числе упрощенный порядок государственной регистрации, учета и отчетности субъектов предпринимательства, налогообложения, механизм ускоренной амортизации, лицензирования и сертификации их деятельности;

– на региональном уровне: в Республике Башкортостан на данный момент реализуется государственная программа «Развитие и поддержка малого и среднего предпринимательства в Республике Башкортостан». Цель: обеспечить формирование благоприятных условий, способствующих эффектив-

ной предпринимательской деятельности. Общий объем финансового обеспечения государственной программы в 2019–2024 гг. составит 4 078 668,2 тыс. руб. [9];

– на муниципальном уровне: в каждом муниципальном районе (городе) действует своя определенная программа.

Все эти шаги направлены на совершенствование уже существующих программ, в любом случае подобные меры по поддержке малого и среднего предпринимательства способствуют его развитию в Республике Башкортостан.

Конечно, следует сказать, что уровень развития МСП сильно зависит от географического положения и выполняемой функции городов. Так, обычно в крупных городах регионов показатели, характеризующие предпринимательскую деятельность, превышают аналогичные показатели менее крупных и экономически развитых городов.

Для анкетирования в целях оценки предпринимательской инициативы населения в городах Республики Башкортостан были выбраны города Уфа, Нефтекамск и Стерлитамак, в которых сравнительно высок уровень развития МСП в Республике. Например, эти города занимают первые три места по количеству индивидуальных предпринимателей (табл. 3).

Таблица 2

Показатели деятельности малых предприятий Республики Башкортостан в 2018 г. [8, с. 372]

Показатель	Значение показателя	Доля в России, %	Место РБ среди субъектов РФ
Количество предприятий, тыс.	50,9	1,9	12
Оборот, млрд руб.	804,9	1,5	15
Средняя численность работников, тыс. человек	318,6	2,7	9

Таблица 3

Количество индивидуальных предпринимателей и численность населения городских округов и городов Республики Башкортостан в 2018 г. [10, с. 24–25, 96–97]

Городской округ, город	Численность населения, человек	Количество индивидуальных предпринимателей, единиц
1. Уфа	1 131 429	28 894
2. Стерлитамак	279 626	5801
3. Нефтекамск	139 263	3346
4. Октябрьский	113 827	2824
5. Салават	152 354	2480
6. Белорецк	65 477	1738
7. Туймазы	68 256	1718
8. Кумертау	64 055	1447
9. Ишимбай	65 085	1368
10. Сибай	62 324	1271

В активных сообществах городов Уфы, Нефтекамска и Стерлитамака был проведен социологический онлайн-опрос о возможности начала предпринимательской деятельности с использованием популярного в России мессенджера.

В опросе приняли участие в Уфе 396 человек, в Нефтекамске – 368 человек, в Стерлитамаке – 344 человека, во всех сообществах были заданы два одинаковых вопроса:

1) Хотите ли вы в будущем заняться собственным бизнесом?

2) Основные препятствия для начала предпринимательской деятельности? (рис. 1, 2).

По результатам первого опроса в Уфе хотели бы заниматься собственным делом в будущем 64% опрошенных, в Нефтекамске – 51% и в Стерлитамаке – 53%. 24% респондентов в Уфе ответили, что не хотели бы заниматься бизнесом, доля ответивших так же в Нефтекамске и Стерлитамаке составила по 36%, воздержались от ответа: в Уфе – 12%, в Нефтекамске – 13% и в Стерлитамаке – 11%.



Рис. 1. Результаты первого опроса

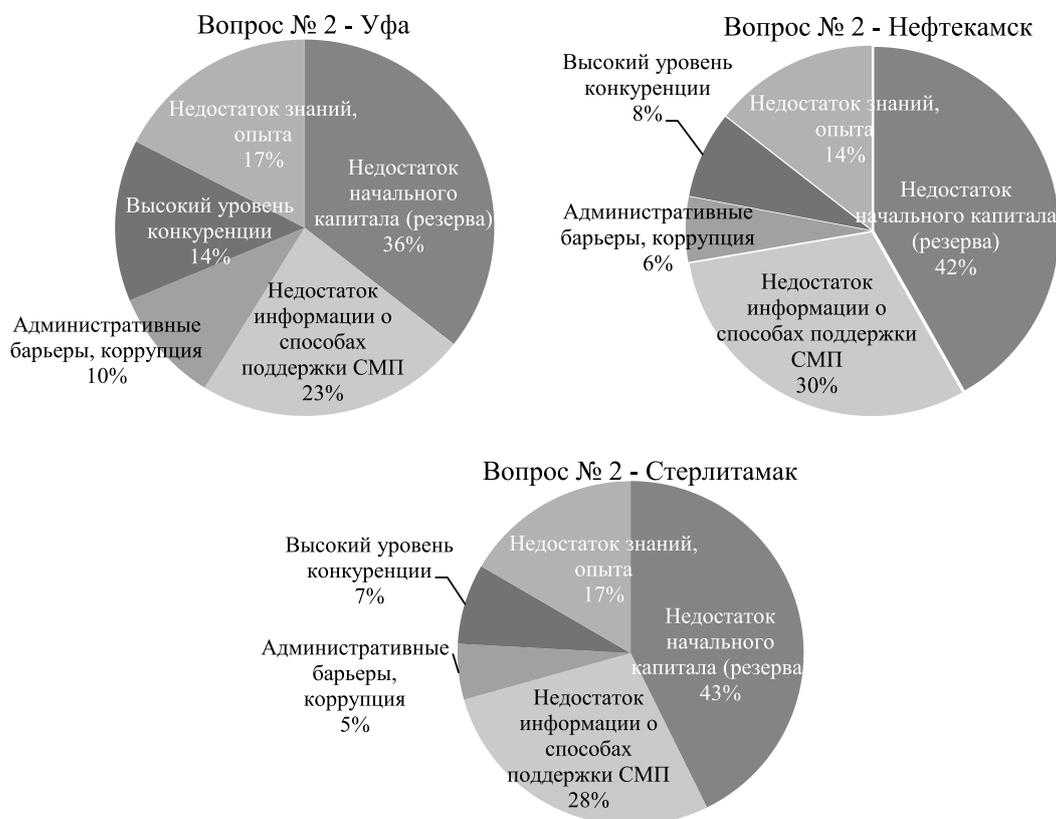


Рис. 2. Результаты второго опроса

Самым распространенным ответом на второй вопрос о препятствиях для начала предпринимательской деятельности оказался «Недостаток начального капитала (запасного резерва)»: 36% в Уфе, 42% в Нефтекамске и 43% в Стерлитамаке. Также 23% респондентов отметили недостаточное информирование о поддержке МСП в Уфе, 30% – в Нефтекамске и 28% – в Стерлитамаке, 17% опрошенных в Уфе ответили, что имеют недостаточно знаний и опыта, в Нефтекамске – 14% и 17% – в Стерлитамаке. Для 14% опрошенных в Уфе препятствием является высокая конкуренция, для 10% – административные барьеры и коррупция. В Нефтекамске и Стерлитамаке назвали препятствием высокую конкуренцию 8% и 7% соответственно, административные барьеры и коррупцию – 6% и 5% соответственно.

Полученные ответы говорят о том, что в столичном городе больше желающих заниматься предпринимательской деятельностью, чем в периферийном городе. Все респонденты назвали основным препятствием для открытия собственного бизнеса недостаток начального капитала, но в Уфе доля таких ответов ниже, чем в других городах, что свидетельствует о более высокой финансовой обеспеченности людей в столице Республики. По результатам опроса видно, что в столице РБ больше людей осведомлены о способах государственной поддержки МСП по сравнению с другими рассмотренными городами. Необходимо уделить больше внимания вопросу распространения информации. Поддержка малого бизнеса часто предполагает предоставление грантов и денежных сумм на начальном этапе, а также необходимых знаний для реализации собственной идеи.

Выводы

1. Большая социально-экономическая значимость проблемы поддержки МСП обуславливает актуальность дальнейших исследований и создания пригодных для практического использования теоретических и методологических основ управления, инструментальных средств содействия развитию и повышению конкурентоспособности малого и среднего бизнеса.

2. В Республике Башкортостан действуют различные программы по поддержке МСП, но, несмотря на это, до сих пор определенная часть населения не осведомлена о возможностях, которое государство может предоставить желающим иметь собственное дело. Данная проблема наблюдается

и в исследуемых городах, несмотря на более высокий уровень развития предпринимательской деятельности в сравнении с другими городами РБ.

3. В городах Республики Башкортостан ведется недостаточная рекламная кампания по информированию населения о действующих государственных программах поддержки МСП. Если уделить этому вопросу больше внимания и повысить эффективность информационной работы, то имеется возможность увеличить число субъектов МСБ.

4. Для совершенствования системы поддержки бизнеса в городах Республики Башкортостан необходимо:

- снизить влияние негативных факторов;
- ускорить развитие современной инфраструктуры, ориентированной на малый и средний бизнес;
- оптимизировать территориальную организацию малого и среднего предпринимательства в городских условиях;
- использовать для развития бизнеса и условий производства товаров и услуг государственные, негосударственные, коммерческие и общественные организации, оказывающие консалтинговые, образовательные и иные услуги;
- обучить специалистов; создать специализированные программы для обучения начинающих бизнесменов, социально незащищенных слоев населения в малых и моногородах, разработать методические рекомендации для подготовки кадров в сфере предпринимательства.

Список литературы / References

1. Башарина С.М., Моргунова Н.В., Филимонова Н.М. Экономика малого и среднего предпринимательства. Владимир: Изд. Владим. гос. ун-та, 2009. 116 с.
- Basharina S.M., Morgunova N.V., Filimonova N.M. Small and Medium Business Economy. Vladimir: Izd. Vladim. gos. unta, 2009. 116 p. (in Russian).
2. Гришина Т.П. Экономика-географическая оценка конкурентоспособности малого и среднего предпринимательства Республики Башкортостан: дис. ... канд. географ. наук. Уфа: Башкирский государственный университет, 2010. 199 с.
- Grishina T.P. Economic and geographical assessment of the competitiveness of small and medium-sized businesses in the Republic of Bashkortostan: dis. ... kand. geograf. nauk. Ufa: Bashkirskiy gosudarstvennyy universitet, 2010. 199 p. (in Russian).
3. Воспроизводственный потенциал Российской Федерации (региональный уровень): учеб. пособ. / под ред. К.Н. Юсупова, А.В. Янгирова, К.Е. Гришина. М.: КНОРУС, 2020. 360 с.
- Reproductive potential of the Russian Federation (regional level): ucheb. posob. / pod red. K.N. Yusupova, A.V. Yangirova, K.E. Grishina. M.: KNORYS, 2020. 360 p. (in Russian).
4. Закиров И.В., Саттарова Г.А. Региональные особенности развития туризма в России // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2018. Т. 4 (70). № 2. С. 86–98.

- Zakirov I.V., Sattarova G.A., Regional features of tourism development in Russia // *Uchenyye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*. 2018. V. 4 (70). № 2. P. 86–98 (in Russian).
5. Закиров И.В. Территориальный подход в исследованиях внешнеэкономических связей // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2018. № 2. С. 27–36. DOI: 10.7868/S2587556618020036.
- Zakirov I.V. Territorial approach in the study of foreign economic relations // *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2018. № 2. P. 27–36 (in Russian).
6. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая) от 30.11.1994 № 51-ФЗ. [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5142/ (дата обращения: 17.08.2020).
- Civil Code of the Russian Federation (part one) dated 30.11.1994 No. 51-FZ. [Electronic resource]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5142/ (date of access: 17.08.2020) (in Russian).
7. Федеральный закон «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» от 24.07.2007 № 209-ФЗ. [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_52144/ (дата обращения: 17.08.2020).
- Federal Law «On the Development of Small and Medium-Sized Businesses in the Russian Federation» dated 24.07.2007 № 209-FZ. [Electronic resource]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_52144/ (date of access: 17.08.2020) (in Russian).
8. Российский статистический ежегодник. 2019: Стат. сб. / Росстат. М., 2019. 708 с.
- Russian statistical yearbook. 2019: Stat. sb. / Rosstat. M., 2019. 708 p. (in Russian).
9. Постановление Правительства Республики Башкортостан о государственной программе «Развитие и поддержка малого и среднего предпринимательства в Республике Башкортостан» от 14 ноября 2018 года № 548 (с изменениями на 19 июня 2020 года). [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/550258514> (дата обращения: 18.08.2020).
- Resolution of the Government of the Republic of Bashkortostan on the state program «Development and support of small and medium-sized businesses in the Republic of Bashkortostan» dated November 14, 2018 № 548 (as amended on June 19, 2020). [Electronic resource]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/550258514> (date of access: 18.08.2020) (in Russian).
10. Социально-экономическое положение муниципальных районов и городских округов Республики Башкортостан: стат. сб. / Башкортостанстат. Уфа, 2018. 277 с.
- Socio-economic situation of municipal districts and urban districts of the Republic of Bashkortostan: stat. sb. / Bashkortostanstat. Ufa, 2018. 277 p. (in Russian).

УДК 502:504.4

**ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ НА СОСТОЯНИЕ
ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В ПЯТИЛЕТНЕЙ ДИНАМИКЕ****Марьинских С.Г., Агейкина О.В.***ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: lazareva_sg@mail.ru*

Изучение техногенного влияния на компоненты природы является важнейшей задачей обеспечения благоприятной геоэкологической обстановки. В статье рассмотрены вопросы производственного экологического мониторинга поверхностных и грунтовых вод в динамике пятилетнего наблюдения на примере Усть-Тегусского месторождения, производственный комплекс которого относится к объектам значительного экологического риска. Производственная деятельность, аварии и отказы на объектах добычи нефти представляют большую угрозу окружающей природной среде. Результаты, представленные в статье, получены в рамках экологического мониторинга и направлены на информационное обеспечение управления природоохранной деятельностью и экологической безопасностью в целом. Дана оценка экологической ситуации в результате воздействия техногенных объектов нефтегазового комплекса Усть-Тегусского месторождения ООО «РН-Уватнефтегаз» на природные воды. Результаты исследования могут быть использованы для разработки мер по снижению негативных экологических последствий; для формирования базы данных для оценки и возмещения экологического ущерба; для прогноза негативных изменений. Наблюдения носили комплексный характер. В целях оценки годовых и многолетних изменений качества объектов окружающей среды в результате хозяйственной деятельности на территории месторождения проведен сравнительный анализ данных в динамике 2013–2018 гг. Экологический мониторинг на Усть-Тегусском месторождении показал, что загрязнение окружающей среды на рассматриваемом углеводородном месторождении носит волнообразный характер. Однако при этом имеет место тенденция прогрессирующего загрязнения, что обуславливает внедрение в практику ограничений производственной деятельности и компенсационных затрат не только по критериям ПДК, ПДВ и т.п., но и по динамике изменений параметров загрязнения.

Ключевые слова: геоэкология, мониторинг, компоненты окружающей среды, поверхностные и грунтовые воды, концентрация, загрязняющие вещества

**INFLUENCE OF THE PROCESS OF PRODUCING HYDROCARBONS
ON THE STATE OF SURFACE WATERS IN THE FIVE-YEAR DYNAMICS****Maryinsky S.G., Ageikina O.V.***Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: lazareva_sg@mail.ru*

The study of the technogenic impact on the components of nature is the most important task of ensuring a favorable geoecological environment. The article discusses the issues of industrial environmental monitoring of surface and groundwater in the dynamics of a five-year observation using the example of the Ust-Tegusskoye field, the production complex of which relates to objects of significant environmental risk. Production activities, accidents and failures at oil production facilities pose a great threat to the environment. The results presented in the article were obtained in the framework of environmental monitoring and are aimed at information support for environmental management and environmental safety in general. The environmental situation is assessed as a result of the impact of the technogenic facilities of the oil and gas complex of the Ust-Tegusskoye field of LLC RN-Uvatneftegaz on natural waters. The results of the study can be used to develop measures to reduce negative environmental consequences; to create a database for the assessment and compensation of environmental damage; to predict negative changes. The observations were complex. In order to assess annual and long-term changes in the quality of environmental objects as a result of economic activity in the field, a comparative analysis of the data in the dynamics of 2013–2018 was carried out. Environmental monitoring at the Ust-Tegusskoye field showed that environmental pollution at the hydrocarbon field in question is undulating. However, there is a tendency of progressive pollution, which leads to the introduction into practice of restrictions on production activities and compensation costs not only by the criteria of MPC, MPE, etc., but also by the dynamics of changes in pollution parameters.

Keywords: geoecology, monitoring, environmental components, surface and groundwater, concentration, pollutants

Специфической особенностью нефтегазодобывающего комплекса Западной Сибири является негативная трансформация всех компонентов природной среды. В процессе разведки, бурения и добычи углеводородов образуются отходы, которые необходимо утилизировать, захоранивать и др. В настоящее время одной из наиболее инновационных и экологически чистых мировых практик по утилизации отходов бурения при добыче нефти и газа является обратная закачка пульпы

в пласт, который расположен на большой глубине. В отличие от традиционных методов переработки шламов, закачка в пласт исключает размещение на поверхности буровых отходов, их контакт с окружающей средой. Соприкосновение с подземными водоносными горизонтами при таком способе захоронения отходов должно быть полностью исключено.

В этой связи возникает необходимость детального исследования экологически опасных объектов сырьевого комплекса

для принятия мер по регулированию хозяйственной деятельности [1–3].

Поверхностные воды являются наиболее уязвимыми компонентами природной среды при эксплуатации объектов нефте- и газодобычи, и поэтому в результате работ подробно были исследованы показатели загрязнения водных объектов [4].

Результаты, представленные в статье, получены в рамках общей целевой установки экологического мониторинга и направлены на информационное обеспечение управления природоохранной деятельностью и экологической безопасностью на Усть-Тегусском месторождении в целом и комплексе по закачке отходов в пласт в частности [5; 6].

Цель исследования: оценить состояние природных вод на территории Усть-Тегусского месторождения в процессе природопользования. Провести сравнительный анализ общего состояния природных вод в динамике пяти лет эксплуатации месторождения в целом и комплекса по закачке в частности.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования стало Усть-Тегусское месторождение (комплекс по закачке отходов, шламовые амбары), расположенное на Усть-Тегусском лицензионном участке. Месторождение расположено на территории Уватского муниципального района Тюменской области.

Осенью 1991 г. было начато пробное бурение в районе Усть-Тегусской площади. В результате испытания скважины № 100 оказалось найденным новое нефтяное месторождение. Активное освоение месторождения началось с 2004 г. Сегодня это одно из наиболее развитых месторождений Уватского района.

Работы по экоаналитическому контролю природных вод Усть-Тегусского месторождения проводились в три этапа:

– подготовительный – сбор и анализ имеющейся информации по объектам исследований;

– полевой – аэровизуальное обследование участков, наземное обследование, оценка уровня загрязнения территории месторождения (в т.ч. отбор проб природных вод);

– камеральный – проведение лабораторных анализов отобранных проб, подготовка отчетов.

Выбор нормативных документов на методики выполнения измерений определен областью аккредитации ФГБУ «ЦЛАТИ по УФО», ФБУЗ «Центр гигиены и эпи-

демиологии в Тюменской области», ГСАС «Тюменская».

В целях оценки годовых и многолетних изменений качества элементов окружающей среды в результате хозяйственной деятельности на территории месторождения проведен сравнительный анализ данных 2013–2018 гг. по направлениям: поверхностные и грунтовые воды. Географическое положение местности и места отбора проб представлены на схеме (рисунок).

Поверхностные воды: в районе комплекса по закачке отходов в пласт в 5 точках (в мае, августе, октябре): точка В-1К – ручей без названия; точка В-2К – ручей без названия; точка В-3К – р. Демьянка выше по течению; точка В-4К – р. Демьянка ниже по течению; точка В-5К – болото без названия.

Грунтовые воды: комплекс по закачке отходов 5 точек 2 раза в год (начало половодья, летне-осенняя межень, перед ледоставом); шламовые амбары 5 точек 1 раз в год (июль); шламовые амбары 1 точка 2 раза в год (август, октябрь).

Отбор и хранение проб отобранных вод были выполнены в соответствии с требованиями ГОСТ Р 31861-2012, НД на методики измерений.

В ходе аналитического контроля лабораториями использовались методики, отвечающие требованиям, предъявляемым на сегодняшний день в Российской Федерации.

Выбор методик измерений для проведения аналитических работ осуществлялся с учетом их назначения, области распространения, диапазонов определяемых компонентов, а также информации о наличии влияющих факторов и установленных показателей качества.

Анализ результатов экоаналитических исследований и оценка состояния природных вод осуществлялся по следующим направлениям:

– анализ текущего состояния относительно установленных нормативов качества – ПДК, ОДК, ОБУВ и др. (проводился при наличии установленных федеральных и региональных экологических нормативов качества);

– анализ годового изменения состояния компонента окружающей среды;

– анализ изменения состояния контролируемого компонента окружающей среды относительно уровня загрязнения 2014 г.;

– анализ изменения состояния природных вод в контрольных точках относительно фоновых точек;

– оценка уровня загрязненности природных вод.

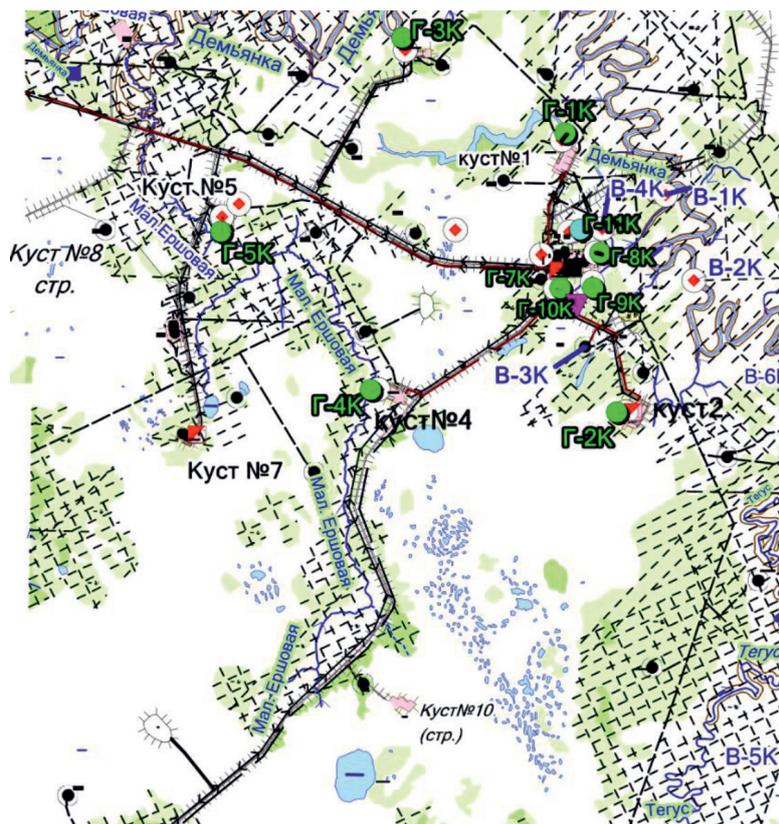


Схема расположения точек отбора проб

Результаты исследования и их обсуждение

Поверхностные воды. За период наблюдения за качеством поверхностных вод, начиная с 2013 г., изменялись контролируемые показатели. В 2018 г. в поверхностных водах контролировались следующие показатели: рН, аммоний-ион, нитраты, гидрокарбонаты, хлориды, сульфаты, БПКполн., фосфаты, нефть и нефтепродукты, фенолы, АПАВ, железо общее, никель, марганец, медь, цинк, ртуть, свинец, кобальт, хром.

При этом общими показателями за весь период наблюдения были: нефть и нефтепродукты, медь, цинк, ртуть, свинец, кобальт, токсичность хроническая. В связи с этим сравнение в динамике проводилось по семи вышеуказанным показателям.

Действующим законодательством в области охраны поверхностных вод четко определено, что фоновый створ назначается выше места водопользования, контрольный – ниже места водопользования. В связи с этим были назначены следующие точки:

– фоновая – точка В-5К, расположенная выше места водопользования;

– контрольные – точки В-1К, В-2К, В-3К, В-4К, расположенные ниже места водопользования.

В 2018 г. в контрольных точках по сравнению с фоном зафиксировано увеличение значений следующих показателей:

– в точке В-1К – незначительное превышение по показателям БПКполн., аммоний-ион, нитрат-ион, фосфат-ион, фенол, нефтепродукты, никель, по показателям кобальт и марганец выявленные концентрации соответствуют фоновым значениям. Значения остальных показателей ниже фоновых;

– в точке В-2К незначительные превышения значений рН, хлоридов, нефтепродуктов, железа общего, превышения нитрат-иона. Значения остальных показателей ниже фоновых;

– в точке В-3К выявлен незначительный рост рН, при этом значения кислотности приблизились к нейтральным. Содержание железа общего, кобальта и никеля несколько выше фоновых; выявлен значительный рост концентраций нитрат-ионов

и фосфат-ионов. Значения остальных показателей ниже фоновых;

– в точке В-4К незначительный рост рН, хлорид-иона, железо общее; повышенное содержание нитрат-ионов.

Для дальнейшей оценки состояния контролируемых поверхностных вод были проведены вычисления значений коэффициента комплексной загрязненности воды (ККЗВ) и удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ).

Значения коэффициента комплексности загрязненности воды в разных точках в разные периоды года варьировались от 0 до 33,33. Значения индекса УКИЗВ в 2018 г. варьировались от 1,39 до 1,8. С учетом коэффициента запаса (коэффициент запаса равен 1) и числа критических показателей загрязненности (количество КПЗ 0) поверхностная вода соответствует 2 классу загрязненности (слабо загрязненная) во всех контролируемых точках.

Грунтовые воды. Одним из распространённых источников химического загрязнения территории нефтяного месторождения традиционно являются шламовые амбары-накопители, заполняемые отходами бурения [6]. Для оценки их негативного воздействия были проведены лабораторные исследования качества грунтовых вод в 2018 г. В целях оценки годовых и многолетних изменений качества грунтовых вод был проведен сравнительный анализ данных 2018 г. с данными наблюдений за 2017 и 2013 гг.

Сравнительный анализ результатов исследований выявил незначительный рост значений следующих показателей:

1) в 2018 г. по сравнению с уровнем 2013 г.:

в точке Г-1К – рН, сухой остаток, БПК₅, нефтепродукты, магний, медь; в точке Г-2К – нефтепродукты, барий, магний, мышьяк, цианиды; в точке Г-3К – превышений не обнаружено; в точке Г-4К – БПК₅, нефтепродукты, свинец, хром, цианиды; в точке Г-5К – БПК₅, нефтепродукты, медь, свинец, цианиды;

2) в 2018 г. по сравнению с уровнем 2017 г.:

в точке Г-1К – рН, сухой остаток, БПК₅, нефтепродукты, магний; в точке Г-2К – барий, магний; в точке Г-3К – кадмий; в точке Г-4К – БПК₅, нефтепродукты, медь, хром; в точке Г-5К – нефтепродукты, медь, свинец, цианиды;

2.1) в точке Г-6К по сравнению с уровнем 2017 г.:

в августе – рН, сухой остаток, БПК₅, нефтепродукты, барий, кадмий, магний, медь, хром, радон-222; в октябре – рН, сухой остаток, БПК₅, хлориды, нефтепродукты, барий, кадмий, магний, кислотность, содержание сухого остатка, гидрокарбонатов, хлоридов, нефтепродуктов, хрома.

По результатам исследований в 2017–2018 гг. в воде контролируемых проб превышений по бактериологическим показателям и гельминтам не выявлено.

Среднегодовые значения остальных контролируемых показателей во всех точках не изменились либо их значения снизились. При этом некоторый рост значений контролируемых параметров, очевидно, обусловлен природными факторами (инфильтрация поллютантов с осадками, привнос их с заболоченных территорий с поверхностным и грунтовым стоком, размывом горных пород) и связан с сезонными колебаниями уровня грунтовых вод, температуры воды, активацией или затуханием процессов разложения органических веществ и т.д. Неудовлетворительное качество грунтовой воды также могло быть обусловлено недостаточным уровнем воды в наблюдательных скважинах и изношенностью материала скважин.

В связи с тем что санитарно-гигиенические нормативы качества грунтовых вод для территорий, расположенных вне населенных мест, не установлены, расчет коэффициента комплексности загрязненности воды и оценка их качества по индексу УКИЗВ не производился.

Сведения о качестве грунтовых вод в районе комплекса по закачке отходов в 2013–2018 гг. В целях оценки годовых и многолетних изменений качества грунтовых вод на территории комплекса по закачке отходов в результате хозяйственной деятельности проведен сравнительный анализ данных 2018 г. с данными 2017 и 2013 гг. В качестве фоновых значений приняты результаты исследований качества грунтовых вод в точках за 2013 г.

Сравнительный анализ результатов исследований выявил рост значений следующих показателей:

1) в 2018 г. по сравнению с уровнем 2013 г.:

в точках Г-7К, Г-8К, Г-9К, Г-10К, Г-11К – хлориды, фенол, железо общее, марганец;

2) в 2018 г. по сравнению с уровнем 2017 г.:

в точке Г-7К, Г-8К, Г-11К – хлориды, фенол, железо общее, марганец; нефтепродук-

ты; в точке Г-9К – хлориды, нефтепродукты; в точке Г-10К – фенол, нефтепродукты.

В качестве фоновой точки была принята точка Г-8К. Сравнивая полученные значения контролируемых показателей со значениями в фоновой точке, расположенной в районе комплекса по закачке отходов, зафиксировали следующее:

в точке Г-7К – отклонения по показателям мутность, запах, перманганатная окисляемость, фенол, нефтепродукты, железо общее, азот аммония; в точке Г-9К – отклонения по показателям запах, перманганатная окисляемость, хлориды, железо общее, азот аммония; в точках Г-10К, Г-11К – отклонения по всем контролируемым показателям.

Учитывая, что степень загрязненности водных объектов зависит не только от природных, но и от антропогенных факторов, дополнительно было проведено исследование состояние природных вод в целом по Усть-Тегусскому лицензионному участку (ЛУ).

В соответствии с Планом-графиком контроля отбор проб поверхностных вод в 6 точках (2 раза в год – в мае, сентябре):

точка В1 – р. Демьянка, на выходе с ЛУ; точка В2ф – р. Демьянка, на входе в ЛУ; точка В3 – р. Мал. Ершова, 100 м выше по течению от кустовой площадки № 4; точка В4 – р. Мал. Ершова, в 100 м ниже по течению от кустовой площадки № 4; точка В5ф – р. Тегус, на входе в контур ЛУ; точка В6 – р. Тегус, в месте впадения в р. Демьянку.

По результатам анализа отобранных проб в 2018 г. установлено, что речная вода не соответствовала установленным нормативам качества по следующим показателям:

– в мае: в точках В1, В3, В4, В5, В6 – по фенолу; в точке В2 – по фосфатам, меди; в точках В4, В5 – по фенолу, нефтепродуктам;

– в сентябре: в точках В1, В3, В4 – по меди; в точке В5 – по фенолу; в точке В6 – по фосфатам, фенолу;

– в среднем за год: в точках В5, В6 – по фенолу. Значения остальных контролируемых показателей во все периоды в обеих точках не превышают соответствующих нормативов.

Для оценки уровня воздействия хозяйственной деятельности на водные объекты проведен анализ состояния поверхностных вод в контрольных точках относительно фоновой точки. В качестве фоновой точки на р. Демьянка определена точка В2ф, на р. Тегус – точка В5ф; точки В1 и В6 соот-

ветственно являются контрольными. Фоновая и контрольная точка на р. Мал. Ершовой назначены следующим образом:

– фоновая – точка В3 в 100 м выше по течению от кустовой площадки № 4;

– контрольная – точка В4 в 100 м ниже по течению от кустовой площадки № 4.

В р. Демьянке в 2018 г. в контрольной точке В1 по сравнению с фоном (точка В2ф) зафиксировано увеличение значений в среднем за год по следующим показателям: рН, сульфаты, нефтепродукты, медь.

В р. Мал. Ершова в 2018 г. в контрольной точке В4 по сравнению с фоном (точка В3) зафиксировано увеличение значений в среднем за год по следующим показателям: хлориды, нефтепродукты, никель.

В р. Тегус в 2018 г. в контрольной точке В6 по сравнению с фоном (точка В5ф) зафиксировано увеличение значений в среднем за год по следующим показателям: рН, фенол.

Уровень загрязненности воды оценивался посредством использования следующих коэффициентов.

Коэффициент комплексности загрязненности воды (ККЗВ) был рассчитан для 12 показателей. Полученные значения ККЗВ варьировались в пределах от 0 до 16,67 и составили:

– в точках В1, В3, В4, В5ф: в мае и в сентябре – 8,33 (вода относится к I категории загрязненности);

– в точке В2ф: в мае и в сентябре – 0,00 (загрязненность отсутствует);

– в точке В6: в мае – 8,33, в сентябре – 16,67 (вода относится ко II классу загрязненности).

Индексы КИЗВ и УКИЗВ рассчитаны по 12 показателям. Согласно расчетам, в 2018 г. УКИЗВ варьировался от 0,00 до 1,26. С учетом коэффициента запаса (К варьировался в диапазоне от 0,9 до 1) и числа критических показателей загрязненности (КПЗ варьировался от 0 до 1) речная вода соответствует:

– в точках В1, В2ф, В3, В4, В5ф – 1 классу загрязненности (условно чистая);

– в точке В6 – 2 классу загрязненности (слабо загрязненная).

В целях оценки качества воды также проведены токсикологические исследования. Все исследованные пробы не оказывали острого токсического действия.

В целях оценки годовых изменений качества поверхностных вод в результате хозяйственной деятельности был проведен сравнительный анализ данных 2018 и 2017 гг.

Анализ многолетнего изменения состояния рек проведен в сравнении с данными о фоновом загрязнении речной воды, полученными в 2014 г. В качестве фоновых значений для рек Демьянки и Мал. Ершовой применены результаты наблюдений в точках В1, В2ф, В6, В7 сети наблюдений 2014 г.

Анализ многолетнего изменения состояния р. Тегус в точках В5ф и В6 не проводится в связи с отсутствием результатов наблюдений за пятилетний период.

Сравнительный анализ результатов исследований выявил незначительный рост значений по следующим показателям:

1) в 2018 г. по сравнению с уровнем 2014 г.:

– в мае: в точке В1 – БПКполн., сульфаты, хлориды, фенол, хром; в точке В2ф – БПКполн., сульфаты, хлориды, фенол, нефтепродукты, марганец, хром; в точке В3 – рН, БПКполн., сульфаты, хлориды, фенол, нефтепродукты, хром; в точке В4 – БПКполн., хлориды, фенол, нефтепродукты, хром;

– в сентябре: в точке В1 – аммоний, сульфаты, хлориды, фенол, нефтепродукты, медь, никель; в точке В2ф – БПКполн., аммоний, нитраты, сульфаты, хлориды, фенол, нефтепродукты, железо, марганец; в точке В3 – рН, БПКполн., аммоний, сульфаты, фенол, нефтепродукты, медь, никель; в точке В4 – рН, БПКполн., аммоний, сульфаты, фенол, нефтепродукты, медь, никель;

2) в 2018 г. по сравнению с уровнем 2017 г.:

– в мае: в точке В1 – БПКполн., хлориды, фенол, нефтепродукты, хром; в точке В2ф – хлориды, фенол, нефтепродукты, железо, марганец, свинец, хром; в точке В3 – рН, БПКполн., сульфаты, хлориды, нефтепродукты, железо, марганец, никель, хром; в точке В4 – БПКполн., сульфаты, хлориды, нефтепродукты, железо, марганец, никель, хром; в точке В5ф – БПКполн., сульфаты, фенол, никель, хром; в точке В6 – рН, БПКполн., сульфаты, хлориды, фенол, никель, хром;

– в сентябре: в точке В1 – сульфаты, хлориды, фосфаты, нефтепродукты; в точке В2ф – БПКполн., аммоний, нитраты, сульфаты, хлориды, фосфаты, фенол, железо; в точке В3 – сульфаты, хлориды; в точке В4 – БПКполн., сульфаты, хлориды, нефтепродукты; в точке В5ф – аммоний, нитраты, сульфаты, хлориды, фосфаты, железо; в точке В6 – рН, аммоний, нитраты, хлориды, фосфаты, нефтепродукты, железо.

Значения остальных контролируемых показателей во всех точках во все периоды наблюдений не изменились или снизились.

Повышенное содержание примесей может быть связано как с загрязнением речной воды отводимыми сточными водами (в т.ч. сторонних организаций, осуществляющих водопользование на участках рек, расположенных выше по течению), так и с привнесением примесей из других природных сред при взаимодействии в системах «атмосферный воздух – поверхностная вода», «снежный покров – поверхностная вода», «грунтовая вода – поверхностная вода», «донные отложения – поверхностная вода», «почвы – поверхностная вода», т.е. с природным фактором. При этом повышенное содержание поллютантов может отмечаться даже на тех территориях, которые не подвержены какому-либо антропогенному воздействию, что в целом характерно для водных объектов Западной Сибири.

Выводы

Экологический мониторинг и сравнительный анализ общего состояния природных вод на Усть-Тегусском месторождении в рассматриваемый период (2013–2018 гг.) показали прогрессирующее загрязнение водной среды при волнообразном характере содержания загрязняющих компонентов, обусловленный влиянием климатических факторов в годовом режиме.

Применительно к поверхностным водам значения коэффициента комплексности загрязненности воды в разных точках в разные периоды года варьировались от 0 до 33,33, при этом результаты испытаний соответствуют слабому загрязнению водной среды во всех контролируемых точках.

Для грунтовых вод характерен рост значений контролируемых поллютантов, обусловленный инфильтрацией с осадками, поверхностным и грунтовым стоком с заболоченных территорий.

Сравнительный анализ результатов исследований выявил незначительный рост содержания примесей в пробах *грунтовых вод в районе комплекса по закачке отходов и водных объектов*.

Наряду с этим в воде контролируемых проб превышений по бактериологическим показателям и гельминтам не выявлено.

В качестве рекомендаций и основных мероприятий по охране природных вод, с целью

уменьшения концентраций загрязняющих веществ, рекомендуется:

– усилить контроль за соблюдением нормативов сброса сточных вод;

– усилить контроль за работой очистных сооружений сточных вод, за соблюдением технологического регламента их работы;

– реализовать комплекс мер по расчистке русла реки от завалов, образованных естественным путем (обвалы берегов, завалы сухих деревьев и др.), с целью предотвращения застоя поверхностной воды и зарастания русла;

– ежегодно обследовать шламовые амбары на предмет нарушения целостности обвалования, гидроизоляции дна и стенок для исключения розлива и фильтрации загрязняющих веществ.

Список литературы / References

1. Поршакова А.Н., Старостин С.В., Котельников Г.А. Экологический мониторинг районов нефтяных и газовых месторождений: проблемы и перспективы // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=13090> (дата обращения: 10.07.2020).
2. Porshakova A.N., Starostin S.V., Kotel'nikov G.A. Environmental monitoring of oil and gas fields: problems and prospects // Modern problems of science and education. 2014. № 3. [Electronic resource]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=13090> (date of access: 10.07.2020) (in Russian).
3. Серпуховитина Т.Ю., Ернеев Р.Ю., Жилинкова А.П. Геоэкологический мониторинг техногенного воздействия горных предприятий на территории Губкинского района // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 8. С. 231–236.
4. Serpukhovitina T.Yu., Erneev R.Yu., Zhilinkova A.P. Geoeological monitoring of the technogenic impact of mining enterprises on the territory of the Gubkinsky district // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal). 2011. № 8. P. 231–236 (in Russian).
5. Легостаева Я., Ксенофонтова М., Попов В. Геоэкологический мониторинг на территории подземных полигонов утилизации высокоминерализованных вод в Западной Якутии // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 4. С. 58–63. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-4-58-63.
6. Legostaeva Ya., Ksenofontova M., Popov V. Geoeological monitoring in the territory of underground disposal sites for highly mineralized waters in Western Yakutia // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2019. № 4 (23). P. 58–63 (in Russian).
7. Казьмин С.П., Климов О.В. Экологический мониторинг на нефтяных месторождениях Новосибирской области // Гео-Сибирь-2011: сборник материалов VII Международного Научного Конгресса (19–29 апр. 2011 г.). Т. 4. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология. Новосибирск, 2011. С. 227–231.
8. Kazmin S.P., Klimov O.V. Ecological monitoring at oil fields of the Novosibirsk Region // Geo-Siberia-2011: collection of materials of the VII International Scientific Congress (April 19-29, 2011). V. 4. Distantionnyye metody zondirovaniya Zemli i fotogrammetriya, monitoring okruzhayushchey sredy, geoeekologiya. Novosibirsk, 2011. P. 227–231 (in Russian).
9. Акселевич В.И. Система геоэкологического мониторинга и его организация в интересах обеспечения безопасности мегаполисов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 8–1. С. 70–74.
10. Akselevich V.I. The system of geoeological monitoring and its organization in the interests of ensuring the safety of megacities // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. 2015. № 8–1. P. 70–74 (in Russian).
11. Лунев Б.С., Красильников П.А., Иларионов С.А., Спасский Б.А., Наумов В.А. Картирование территории при проведении геоэкологического мониторинга средствами ГИС // Фундаментальные исследования. 2014. № 11–1. С. 89–93.
12. Lunev B.S., Krasilnikov P.A., Ilarionov S.A., Spassky B.A., Naumov V.A. Territory mapping during geoeological monitoring by means of GIS // Fundamental research. 2014. № 11–1. P. 89–93 (in Russian).

УДК 622.357.1:622.244.6:551.34

**ПРОГРАММА РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДРАГЛАЙНА
ПРИ РАЗРАБОТКЕ СМЕРЗАЮЩЕЙСЯ ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ****Панишев С.В., Миронов Я.В.***Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского, СО РАН, Якутск,
e-mail: bsdpsv@mail.ru, mironoff22ykt@mail.ru*

Разработана программа для расчета показателей бестранспортной усложненной схемы экскавации. Рассмотренная в статье схема экскавации адаптирована к условиям криолитозоны и предназначена для отработки по бестранспортной технологии взорванного массива вскрышных пород, который подвержен повторному смерзанию. Отработка взорванного массива горной породы ведется слоями, по всей длине экскаваторного блока. При этом шагающий экскаватор-драглайн находится на поверхности блока и, перемещаясь вдоль блока, последовательно снимает поверхностный слой породы. Такая схема экскавации и порядок отработки блока обеспечивают максимально возможную производительность экскаватора-драглайна в условиях повторного смерзания взорванной породы, так как экскаватором снимается поверхностный слой, уже подвергшийся некоторой оттайке под воздействием солнечной инсоляции. Для расчета показателей данной бестранспортной усложненной схемы экскавации вначале вводятся параметры экскаваторной заходки в целике, затем задаются параметры буровзрывных работ, определяющие конфигурацию развала взорванной горной массы, и задается модель экскаватора-драглайна. Для расчета объемов экскаваторных работ программой предусмотрены 4 характерных варианта формирования конфигурации развала породы взорванного вскрышного уступа. Влияние вторичного смерзания на эффективность работы экскаватора учитывается специальным алгоритмом расчета производительности драглайна, который предполагает обособленный расчет производительности и времени отработки по каждому обрабатываемому слою экскаваторного блока. Основными вводными данными для расчета производительности драглайна являются размеры экскаваторной заходки, толщина снимаемого слоя породы с поверхности забоя экскаватора за определенный промежуток времени и средняя температура породы в каждом выемочном слое. Для расчета производительности экскаватора при отработке каждого слоя используются ранее установленные зависимости между температурой породы в забое и временем рабочего цикла драглайна. Во взаимосвязи с температурно-климатическим периодом ведения горных работ рассчитываются производительность экскаватора, время отработки каждого выемочного слоя, а затем и время отработки экскаваторного блока.

Ключевые слова: математическая модель, температура породы режим, драглайн, смерзание, производительность**PROGRAM FOR CALCULATING DRAGLINE PERFORMANCE
IN THE DEVELOPMENT OF FROZEN BLASTED ROCK MASS****Panishv S.V., Mironov Ya.V.***Mining Institute of the North named N.V. Cherskiy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Yakutsk, e-mail: bsdpsv@mail.ru, mironoff22ykt@mail.ru*

A program has been developed for calculating the indices of a non-transport complicated excavation scheme. The excavation scheme considered in the article is adapted to the conditions of the permafrost zone and is intended for development of the blasted overburden massif, which is subject to repeated freezing, using the non-transport technology. The blasted rock mass is worked out in layers along the entire length of the excavator block. At the same time, a walking dragline excavator is located on the surface of the block, and moving along the block, sequentially removes the surface layer of the rock. This excavation scheme and the block mining procedure ensure the maximum possible performance of the dragline excavator in conditions of repeated freezing of the blasted rock, since the excavator removes the surface layer that has already undergone some thawing under the influence of solar insolation. To calculate the indicators of this non-transport complicated excavation scheme, the parameters of the excavator entry in the pillar are first entered, then the parameters of drilling and blasting operations are set, which determine the configuration of the breakup of the blasted rock mass, and the model of the dragline excavator is set. To calculate the volume of excavation work, the program provides 4 typical options for the formation of the configuration of the rock breakup of the blown overburden ledge. The effect of secondary freezing on the efficiency of the excavator is taken into account by a special algorithm for calculating the dragline performance, which assumes a separate calculation of the productivity and operating time for each excavator block being worked out. The main input data for calculating the dragline performance are the dimensions of the excavator entry, the thickness of the rock layer removed from the bottom of the excavator for a certain period of time, and the average temperature of the rock in each excavation layer. To calculate the performance of an excavator during the development of each layer, the previously established relationships between the temperature of the rock in the bottom hole and the time of the dragline's working cycle are used. In connection with the temperature and climatic period of mining, the performance of the excavator, the time for working out each excavation layer, and then the time for working out the excavator block are calculated.

Keywords: mathematical model, rock temperature regime, dragline, freezing, productivity

Характерными признаками бестранспортной системы разработки являются экскавация, перемещение и укладка вскрышных пород непосредственно в выработанное

пространство одним или несколькими экскаваторами, а основным оборудованием здесь являются экскаваторы-драглайны. Шагающие экскаваторы-драглайны – мощ-

ная и дорогостоящая техника, что требует особого, внимательного подхода к самым различным вопросам ее применения в условиях открытых разработок.

Наиболее значимые исследования в области бестранспортной технологии связаны с расширением области применения бестранспортной технологии на открытых горных работах, обоснованием параметров бестранспортной системы разработки, совершенствованием технологических схем, исследованием эффективности работы экскаватора-драглайна во взаимосвязи с различными факторами, автоматизацией технологических процессов экскаватора, оптимизацией параметров бестранспортной технологии с помощью экономико-математического моделирования и др.

Так, например, вопросы оптимизации и управления временем рабочего цикла драглайна рассмотрены в работах [1, 2], а авторами [3] моделировалась и исследовалась динамика наполнения ковша драглайна во взаимосвязи с его размерам и крупностью материала.

В настоящее время актуальны исследования в области автоматизации технологического процесса драглайна, а также связанные с созданием современных интеллектуальных алгоритмов управления технологическими операциями шагающих экскаваторов-драглайнов [4–6].

В области программного обеспечения заслуживает внимания информационно-программный комплекс Minescal, основной задачей которого является моделирование бестранспортной технологии отработки взорванного массива горной породы [7, 8].

Особенностями ведения открытых горных работ в криолитозоне являются наличие многолетней мерзлоты и суровые климатические условия, которые оказывают значительное влияние на эффективность горнодобывающих предприятий. По результатам исследований, ранее выполненных в ИГДС СО РАН, установлено, что наличие мерзлоты и склонность взорванной горной массы ко вторичному смерзанию значительно осложняют работу экскаваторов-драглайнов, ведут к увеличению времени рабочего цикла и соответственно к снижению производительности. При этом производительность экскаватора-драглайна в различные природно-климатические периоды также значительно изменяется.

Поэтому адаптация бестранспортной технологии к условиям криолитозоны, достоверный прогноз эффективности работы

оборудования являются актуальными научными задачами в области планирования показателей открытой разработки.

Целью исследования, представленного в данной статье, является разработка специализированной программы расчета параметров бестранспортной системы разработки, позволяющей вычислять производительность экскаватора-драглайна в зависимости от температуры породы в забое.

Материалы и методы исследования

Для прогноза производительности драглайна ранее была разработана программа расчета параметров бестранспортной системы разработки. Основой для разработки программы послужили исследования влияния смерзания взорванных вскрышных пород на производительность экскаватора. Это позволяло приближенно оценить производительность драглайна во взаимосвязи со средней температурой породы. Современная версия программы, о которой идет речь в данной статье, позволяет более точно вычислить производительность экскаватора, так как учитывает эффективную технологию отработки смерзающейся горной массы и распределение температуры по высоте развала взорванной породы.

Основные методы, используемые для решения поставленной задачи: натурные наблюдения (исследования), математическое моделирование и расчеты температурного режима в целике вскрышного уступа и развале взорванной породы.

Результаты исследования и их обсуждение

Исходными данными для оценки производительности драглайна являются результаты предварительного расчета температуры в развале взорванной породы на конкретную дату взрыва. Для расчетной модели прогноза температурного режима при описании деформации массива породы при взрывных работах была принята схема А.В. Гальянова [9] (рис. 1).

Для получения необходимых данных о температурном режиме в развале взорванной породы была разработана специальная программа расчета, учитывающая теплофизические показатели породы и параметры технологической схемы работы экскаватора.

Характерный результат расчета теплового режима в развале взорванной породы применительно к условиям Кангаласского бурогоугольного месторождения представлен на рис. 2.

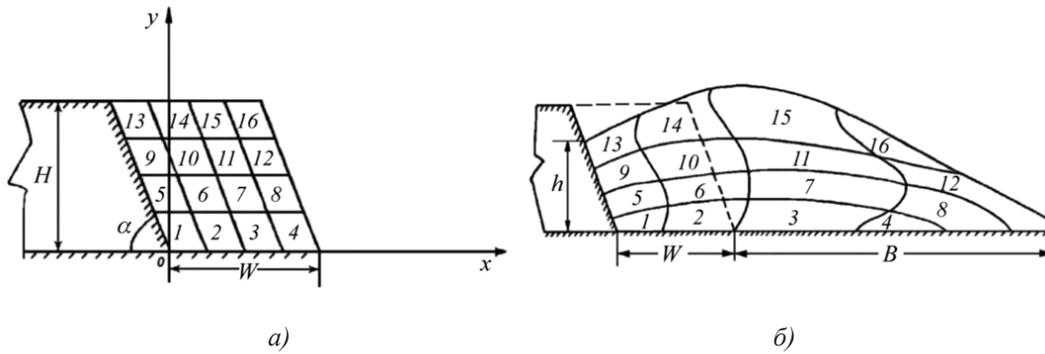


Рис. 1. Схема деформации вскрышного уступа при взрывных работах: а) до взрыва; б) после взрыва

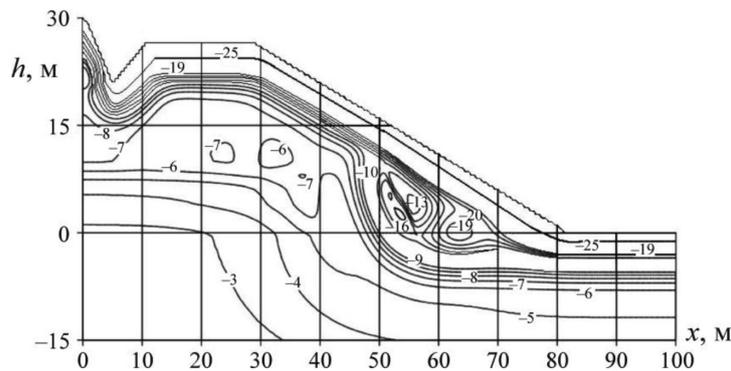


Рис. 2. Расчетные изолинии температур в развале взорванных пород вскрышного уступа

Эти данные служат основой для определения средней температуры породы в выемочном слое при работе экскаватора-драглайна. Как видно из рисунка, температура по высоте развала различна, что и определяет эффективность работы экскаватора на каждом выемочном слое.

Первое и второе рабочие окна программы служат для ввода исходных данных геометрических параметров рабочей зоны и свойств пород, что является основой графического представления схемы расчета бестранспортной технологии вскрышных работ (рис. 3 и 4).

Вначале осуществляется ввод геометрических параметров экскаваторной заходки, включающих поперечное сечение рабочей зоны. Вводятся следующие данные: ширина выработанного пространства, ширина вскрышного уступа, угол откоса и высота вскрышного уступа, мощность верхнего и нижнего пластов полезного ископаемого, мощность породного прослоя, угол отсыпки предотвала, угол откоса пластов полезного ископаемого, угол залегания угольных пластов, берма безопасности для технологической схемы экскавации, угол откоса отвала,

а также на установленную дату задается толщина выемочного слоя, характеризующая понижение поверхности забоя драглайна. Здесь же вводятся следующие показатели: категория пород по крепости, расчетная плотность пород, коэффициенты разрыхления, наполнения ковша и экскавации.

На втором этапе ввода расчетных данных задаются параметры буровзрывных работ, такие как: удельный расход ВВ, плотность ВВ, длина скважины, длина забойки, высота колонки заряда, высота недобура, угол скважины к горизонту, угол откоса пласта, коэффициент разрыхления породы. После ввода параметров забоя и параметров БВР из базы данных задается модель экскаватора.

Программой предусмотрены 4 характерных варианта формирования конфигурации развала породы взорванного вскрышного уступа для расчета объемов экскаваторных работ: с подсыпкой контура отвала, без подсыпки контура отвала, с открытой поверхностью откоса уступа и без подсыпки внутреннего отвала, с открытой поверхностью откоса уступа и подсыпкой внутреннего отвала.

Повтор решения: База экскаваторов

Метод решения: Период работ: Используемый экскаватор: Температура пород:

Параметры расчета: Экскаватор, БРР | Графическая модель | Таблица с результатами расчета

Геометрические параметры

Ширина выработанного пространства: 45
 Ширина вскрышной закладки: 50
 Угол откоса вскрышного уступа: 65
 Высота вскрышного уступа: 20
 Мощность верхнего пласта полезного ископаемого: 5
 Мощность породного прослоя: 5
 Мощность нижнего пласта полезного ископаемого: 5
 Длина фронта работ: 300
 Угол отсыпки предотвала: 45
 Угол откоса пластов полезного ископаемого: 77

Угол откоса яруса отвала: 45 (Не равная 0)
 Берма безопасности: 7,5
 Угол залегания угольных пластов: 5
 Слой (м): 1

Внести данные предыдущего расчета

Временные показатели

Категория пород по крепости	Расчетная плотность породы	Коэффициент разрыхления	Коэффициент наполнения ковша, kn	коэффициент экскавации kз-кп/кр
I	1600	1,15	1,05/1,00	0,91/0,87
II	1800	1,25	1,05/1,00	0,84/0,80
III	2000	1,35	0,95/0,90	0,70/0,67
IV	2500	1,50	0,90/0,85	0,60/0,57
V	3500	1,60	0,90/—	0,56/—

Расчетная плотность породы: 1600
 Коэффициент разрыхления: 1,15
 Коэффициент наполнения: 1,05
 Коэффициент экскавации: 0,91

Период работы:

МЕСЯЦ	ВРЕМЯ СМЕРЗАНИЯ
<input type="radio"/> Март-Апрель	0,5
<input type="radio"/> Май-Июнь	1
<input checked="" type="radio"/> Июль-Август	1,5
<input type="radio"/> Сентябрь-Октябрь	2
<input type="radio"/> Ноябрь-Декабрь	1,5
<input type="radio"/> Январь-Февраль	1

Рис. 3. Первое рабочее окно ввода данных программы расчета производительности драглайна

Повтор решения: База экскаваторов

Метод решения: Период работ: Используемый экскаватор: Температура пород:

Параметры расчета: Экскаватор, БРР | Графическая модель | Таблица с результатами расчета

Экскаваторы

- ЭД-1445
- ЭД-1170
- ЭД-1450
- ЭД-1510**
- ЭД-2005
- ЭД-10100
- ЭД-2090
- ЭД-2590
- ЭД-15100
- ЭД-15110
- ЭД-40100
- ЭД-30110
- ЭД-25120
- ЭД-100125
- ЭД-1070

Тех. характеристики ЭД-15100

Радиус разрытия 76,5 м
 Высота разрытия 32 м
 Радиус черпания 76,5 м
 Высота черпания 40 м
 Просвет над поворотной платформой 1,45 м
 Расстояние от оси платформы до оси вращения 6,20 м
 Радиус вращения восточной части 17,5 м
 Емкость ковша 15 м³

С выводом контроля экскаватора

Параметры БРР

Порода: 2570
 Удельный расход БР: 0,8
 Плотность БР: 900
 Длина скажины: 18
 Длина рабочей: 1
 Высота клина заезда: 17
 Высота надбурья: 2
 Угол откоса скажины к горизонту: 63
 Угол откоса отвала: 0
 Коэффициент разрыхления породы: 1,3

Рис. 4. Второе рабочее окно ввода данных программы расчета производительности драглайна

Принятая в программе для расчета производительности драглайна усложненная схема экскавации адаптирована к условиям криолитозоны и предназначена для отработки по бестранспортной технологии взорванного массива вскрышных пород, который подвержен повторному смерзанию [10] (рис. 5).

Отработка взорванного массива горной породы ведется слоями, по всей длине экскаваторного блока. При этом шагающий экскаватор-драглайн находится на поверхности блока и, перемещаясь вдоль блока,

последовательно снимает поверхностный слой породы. Производительность экскаватора при отработке каждого слоя и время отработки каждого слоя зависят от температуры породы в этих слоях.

Такой порядок отработки блока позволяет обеспечить максимально возможную производительность экскаватора-драглайна в условиях повторного смерзания взорванной породы, так как экскаватором снимается поверхностный слой, уже подвергшийся некоторой оттайке под воздействием солнечной инсоляции.

Для расчета показателей данной бестранспортной усложненной схемы экскавации вначале вводятся параметры экскаваторной заходки в целике, затем задаются параметры буровзрывных работ, определяющие конфигурацию развала взорванной горной массы, и задается модель экскаватора-драглайна.

Влияние вторичного смерзания на эффективность работы экскаватора учитывается специальным алгоритмом расчета производительности драглайна, который предполагает обособленный расчет производительности и времени отработки по каждому обрабатываемому слою экскаваторного блока.

Основными вводными данными для расчета производительности драглайна яв-

ляются размеры экскаваторной заходки, толщина снимаемого слоя породы с поверхности забоя экскаватора за определенный промежуток времени и средняя температура породы в каждом выемочном слое. Для расчета производительности экскаватора при отработке каждого слоя используются ранее установленные зависимости между температурой породы в забое и временем рабочего цикла драглайна. Во взаимосвязи с температурно-климатическим периодом ведения горных работ рассчитываются производительность экскаватора, время отработки каждого выемочного слоя, а затем и время отработки экскаваторного блока.

На рис. 6 представлено рабочее окно программы с результатами расчета.

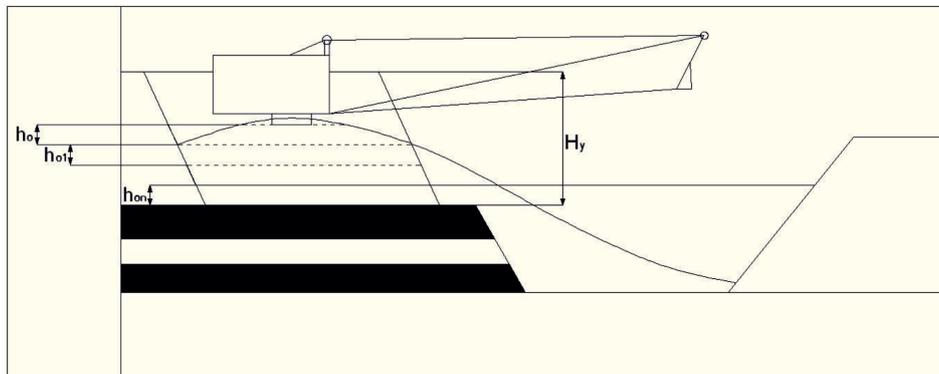


Рис. 5. Схема работы экскаватора на блоке
 H_y – высота уступа; h_0, h_{01} – выемочные слои

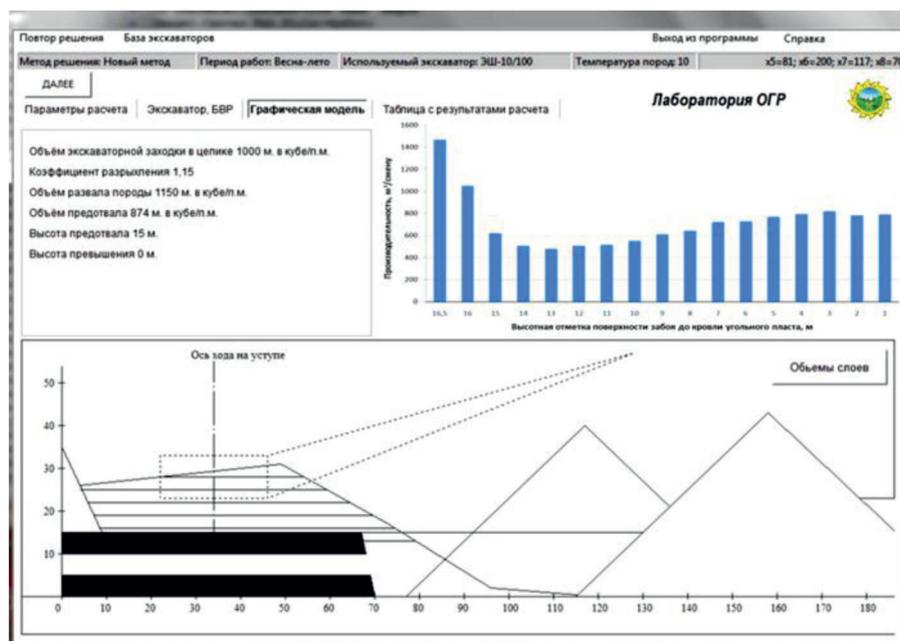


Рис. 6. Рабочее окно программы расчета производительности драглайна

Выводы

Разработана программа расчета производительности драглайна при послышной экскавации смерзающей взорванной горной массы, комплексно сочетающая результаты моделирования температурного режима развала многолетнемерзлых пород и порядок отработки экскаваторного блока. Отличительной особенностью программы является возможность прогноза производительности драглайна на всех стадиях отработки взорванного блока в условиях изменения его температурного режима по глубине.

Список литературы / References

1. Сташко К.В., Стариков К.А. Повышение производительности драглайнов за счет уменьшения времени цикла экскавации // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 5. С. 121–126.
2. Stashko K.V., Starikov K.A. Increasing dragline productivity by reducing excavation cycle time // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tehnicheskiy zhurnal). 2016. № 5. P. 121–126 (in Russian).
3. Drygin M., Kurychkin N., Bakanov A. Ways of increasing excavator fleet productivity in Russian coal open pits (Kuzbass case study). The 1st Scientific Practical Conference. «International Innovative Mining Symposium (in memory of Prof. Vladimir Pronoza)». E3S Web Conf. 2017. Vol. 15. 7 p. DOI: 10.1051/e3sconf/20171503010.
4. Somua-Gyimah.Godfred, Frimpong. Nyaaba.Wedam, Gbadam.Eric. Formation fragmentation modeling and impact on dragline excavation performance in surface mining operations. International Journal of Mining Science (IJMS). Vol. 5. Issue 1. 2019. P. 11–21. DOI: 10.20431/2454-9460.0501002.
5. Певзнер Л.Д. К проблеме автоматизированного управления шагающим драглайном: программирование процесса экскавации // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 1. С. 59–63.
6. Pevzner L.D. On the problem of automated control of a walking dragline: programming the excavation process // Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika. 2009. № 1. P. 59–63 (in Russian).
7. Coetzee C.J., Els D.N.J., Dymond G.F. Discrete element parameter calibration and the modeling of dragline bucket filling. Journal of Terramechanics. 2010. Vol. 47. P. 33–44. DOI: 10.1016/j.jterra.2009.03.003.
8. Хтэй Вин Зо, Певзнер Л.Д., Темкин И.О. Алгоритмическое и аппаратное обеспечение бортовой информационной системы шагающего драглайна // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 2. С. 190–196. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-190-196.
9. Khte Vin Zo, Pevzner L.D., Temkin I.O. Algorithmic and hardware support of the on-board information system of the walking dragline // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tehnicheskiy zhurnal). 2019. № 2. P. 190–196 (in Russian).
10. Назаров И.В. Применение численных методов для математического моделирования технологий работы драглайнов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 4. С. 257–268.
11. Nazarov I.V. Application of numerical methods for mathematical modeling of dragline operating technologies // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tehnicheskiy zhurnal). 2012. № 4. P. 257–268 (in Russian).
12. Назаров И.В. Численное моделирование перевалки вскрышных пород драглайнами // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2013. № 4. С. 148–153.
13. Nazarov I.V. Numerical modeling of overburden transshipment by draglines // Vestnik Baltiyskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. 2013. № 4. P. 148–153 (in Russian).
14. Гальянов А.В., Рождественский В.Н., Блинов А.Н. Трансформация структуры горных массивов при взрывных работах на карьерах. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1999. 139 с.
15. Galyanov A.V., Rozhdestvensky V.N., Blinov A.N. Transformation of the structure of rock massifs during blasting operations in open pits. Yekaterinburg: IGD UrO RAN, 1999. 139 p. (in Russian).
16. Панишев С.В., Ермаков С.А., Каймонов М.В., Зарубин В.А., Зедгенидзе А.И., Максимов М.С., Козлов Д.С. Способ разработки смерзающихся вскрышных пород // Патент 2542007 Российская Федерация МПК Е 21 С 41/26. Заявитель и патентообладатель Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН. № 2013159241/03; заявл. 30.12.2013; опубл. 20.02.2015. Бюл. № 5.
17. Panishev S.V., Ermakov S.A. Temperature effect on stripping in permafrost zone. Journal of Mining Science. 2013. V. 49. № 2. P. 279–283. DOI: 10.1134/S106273914902010X.

УДК 911.37(470)

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЛУЧШИХ ВУЗОВ И СРЕДНИХ ШКОЛ ПО МАКРОРЕГИОНАМ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Попов П.Л., Черенев А.А.

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, e-mail: plp@irigs.irk.ru

В статье рассматривается распределение школ и высших учебных заведений, попадающих в перечни топ-100, по макрорегионам Российской Федерации. Каждый макрорегион и приравненные к макрорегионам города (Москва и Санкт-Петербург) характеризуются количеством баллов, набранных этими образовательными учреждениями. Отмечено, что наиболее сильные позиции как по школам, так и по вузам имеют Москва, Урал, Поволжье, Санкт-Петербург, Центральное Черноземье и Западная Сибирь. Выделены 2 макрорегиона, набравших высокие баллы по вузам и низкие по школам: Юго-Запад и Центральное Черноземье. Отсутствуют макрорегионы, в которых сочетаются сильные позиции по школам и слабые по вузам. Установлено, что слабые позиции и по школам, и по вузам имеют Северо-Запад, Северо-Восток Европейской части, Северный Кавказ, Восточная Сибирь и Дальний Восток. Отмечено, что слабость восточных макрорегионов России (Восточной Сибири и Дальнего Востока) по этим показателям сочетается с многочисленными и имеющими системный характер элементами социально-экономического отставания этих макрорегионов. В этом контексте имеют значение распространенность протестного электорального поведения, которое проявилось, в частности, в результатах Общероссийского голосования по вопросу одобрения изменений в Конституцию Российской Федерации, и соседство этих макрорегионов с сильными геополитическими и геоэкономическими акторами (Китаем, Японией, Южной Кореей, США). Предполагается, что преодоление отставания восточных макрорегионов в сфере образования должно быть одним из направлений региональной политики государства. На наш взгляд, «точкой роста» в Восточной Сибири является г. Иркутск, на Дальнем Востоке – г. Владивосток.

Ключевые слова: образовательная сфера, школы, вузы, рейтинги топ-100, макрорегионы, социально-экономическое отставание, протестное электоральное поведение

ON THE DISTRIBUTION OF THE BEST UNIVERSITIES AND SECONDARY SCHOOLS IN THE MACROREGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION

Popov P.L., Cherenev A.A.

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: plp@irigs.irk.ru

The article examines the distribution of schools and higher educational institutions included in the TOP-100 lists by macroregions of the Russian Federation. Each macroregion and cities equated to macroregions (Moscow and St. Petersburg) are characterized by the number of points scored by these educational institutions. It is noted that the strongest positions in both schools and universities are held by Moscow Urals, the Volga region, St. Petersburg, Central Non-Black Earth Region and Western Siberia. Two macroregions were identified that scored high scores in universities and low scores in schools – South-West and Central Black Earth Region. There are no macro-regions that combine strong positions in schools and weak ones in universities. It was found that the North-West, North-East of the European part, the North Caucasus, Eastern Siberia and the Far East have weak positions both in schools and universities. It is noted that the weakness of the eastern macroregions of Russia (Eastern Siberia and the Far East) in terms of these indicators is combined with the numerous and systemic elements of the socio-economic lag of these macroregions. In this context, the prevalence of protest electoral behavior, which manifested itself in particular in the results of the All-Russian vote on the approval of amendments to the Constitution of the Russian Federation, and the proximity to these macro-regions with strong geopolitical and geo-economic actors (China, Japan, South Korea, the United States), matters. It is assumed that overcoming the backlog of the eastern macroregions in the field of education should be one of the directions of the state's regional policy. In our opinion, the «growth point» in Eastern Siberia is Irkutsk, in the Far East – Vladivostok.

Keywords: educational sphere, schools, universities, TOP-100 ratings, macroregions, socio-economic lag, protest electoral behavior

Образование (в его количественных и качественных аспектах) – один из важнейших факторов развития страны или региона. Согласно подходу ООН показатели образования являются компонентом индекса развития человеческого потенциала, который характеризует уровень развития страны [1]. Также Всемирным банком человеческий капитал с учетом уровня образования определяется как важнейшая составляющая национального богатства. Эти обстоятельства осознавались давно; идея вложения

ресурсов в образовательную сферу для интегрального развития страны, включая ее экономику, высказывалась классиками экономической мысли В. Петти [2], А. Смитом и Д. Рикардо [3], а также современными авторами С.А. Дятловым, Р.И. Капелюшниковой [4], С.Г. Струмилиной, В.И. Марцинкевичем, С.А. Курганским [5], А.И. Добрыниным и др. Отчасти оно может рассматриваться и как индикатор уровня развития. Эти обстоятельства делают изучение образовательных характеристик стран

и регионов весьма важной задачей ряда областей знания, в том числе социальной и политической географии. Это относится и к школьному, и к высшему образованию, тем более что именно в отношении качественных характеристик высшего образования различия регионов (а также стран) особенно велики. Распространенным инструментом сравнения регионов и стран являются рейтинги вузов, составляемые различными структурами. Неоднократно высказывалась мысль, что рейтинги вузов мира не заслуживают доверия и являются своего рода инструментом в конкуренции стран [6]. Рейтинги, в которых сопоставляются вузы одной страны, вероятно, более надежны, хотя в отдельных случаях здесь могут обнаруживаться обстоятельства, дающие столичным вузам своего рода фору. Так, при составлении рейтинга топ-100 российских вузов в версии Forbes учитывался такой фактор, как доля выпускников вуза среди крупных бизнесменов и чиновников. Ясно, что по этому показателю столичные вузы (московские, отчасти и петербургские) при прочих равных условиях заведомо выигрывают у провинциальных. Также ясно, что такой показатель, как конкурентоспособность учеников школы при поступлении в лучшие вузы страны, большинство которых находится в Москве и Санкт-Петербурге, будет при прочих равных условиях выше у выпускников школ из этих городов, с учетом того обстоятельства, что многие из элитных школ созданы при элитных вузах.

Даже поверхностное знакомство с различными рейтингами российских вузов и школ обнаруживает значительные территориальные диспропорции в их размещении, не ограничивающиеся только концентрацией лучших образовательных учреждений в Москве и Санкт-Петербурге. Углубление в эту проблему еще более усиливает впечатление неоднородности страны (на уровне городов, регионов и макрорегионов) по образовательному потенциалу и приводит к вопросу о социально-экономическом контексте такого положения.

Материалы и методы исследования

Мы рассматриваем рейтинг 100 лучших средних школ и 100 лучших вузов Российской Федерации в 2019 г. и сопоставляем его с некоторыми фактами демографической, экономической, электоральной сфер. Рейтинги составлены агентством RAEX, входящим в структуры фонда «Вольное дело» О. Дерипаски.

Вузы характеризовались с использованием рейтингового функционала, основанного на учете трех интегральных факторов:

- 1) условия для получения качественного образования в вузе (вес = 0,5);
- 2) уровень востребованности работодателями выпускников вуза (вес = 0,3);
- 3) уровень научно-исследовательской деятельности вуза (вес = 0,2).

Балльная оценка школ основана на учете конкурентоспособности их учеников при поступлении в лучшие вузы страны [7].

Источник социально-экономической информации – сборник «Регионы России» за 2018 г.

Если связь образовательной сферы с некоторыми экономическими и демографическими явлениями представляется вполне ожидаемой, то обращение к электоральной сфере требует некоторых пояснений. Протестное электоральное поведение (голосование за оппозиционные партии, неявка на выборы, порча бюллетеней) является показателем некоторого социального неблагополучия в регионе и одним из интегральных индикаторов социально-экономического состояния, способным оказывать влияние и на образовательную сферу. Как мы постараемся показать, протестное электоральное поведение часто обнаруживается в регионах, образовательные учреждения которых не попадают в первую сотню лучших.

Результаты исследования и их обсуждение

В таблице показано распределение общего (не отнесенного к численности населения) количества баллов, которое согласно рейтингу RAEX набрали 100 лучших вузов РФ с группировкой по макрорегионам. К макрорегионам приравнены 2 города – Москва и Санкт-Петербург. В таблице приведены также некоторые социально-экономические показатели, которые могут иметь связь (в аспекте территориального распространения) с уровнем развития образования в регионе. Продолжительность жизни и душевой доход характеризуют уровень интегрального развития региона, а количество патентов на изобретения, также являясь показателем развития, имеет особую содержательную связь с уровнем образования.

Обращают на себя внимание следующие аспекты распределения лучших вузов.

1. Значительный отрыв Москвы от других городов и макрорегионов.
2. Наличие группы макрорегионов-лидеров, по количеству баллов следующих

за Москвой и мало отличающихся друг от друга, но значительно опережающих остальные (отставшие) макрорегионы. В эту группу лидеров входят (перечислены в порядке убывания баллов) Санкт-Петербург, Западная Сибирь, Поволжье, Урал, Центральное Нечерноземье (представленное исключительно Московской областью), Центральное Черноземье, Юго-Запад.

3. Отставание Восточной Сибири, Дальнего Востока, Северо-Востока Европейской части России, Северо-Запада (без Санкт-Петербурга), Северного Кавказа.

4. Наличие в Восточной Сибири только одного города, в котором имеется не менее 2 вузов, попавших в топ-100, причем этот город (Красноярск) территориально близок Западной Сибири. На востоке Сибири и в континентальной части Дальнего Востока обнаруживается обширный связный ареал (Республика Тыва, Республика Хакасия, Иркутская область, Республика Бурятия, Забайкальский край, Амурская область, Еврейская АО), в котором нет вузов, попавших в топ-100.

Данные по распределению средних школ, приведенные в таблице, имеют немало общего с данными по вузам. Можно отметить следующее.

1. Преимущество Москвы относительно остальных городов и макрорегионов еще больше.

2. Большая часть группы макрорегионов – лидеров по количеству лучших вузов сохраняет сильные позиции и по школам,

но внутри группы распределение меняется, перечислены в порядке убывания количества баллов: Урал, Поволжье, Санкт-Петербург, Центральное Нечерноземье (представленное в основном Московской областью), Западная Сибирь.

3. Резко ухудшены сравнительно с положением по вузам позиции Юго-Запада и Центрального Черноземья.

4. Группа макрорегионов-аутсайдеров, отстающих по вузам, по средним школам отстает еще сильнее. Восточнее Красноярска (не только в Сибири, но и на Дальнем Востоке) нет городов со школами, попадающими в топ-100.

Нет таких школ и на Северном Кавказе.

5. Велики различия между населенными пунктами различных типов по количеству лучших школ. Кроме федеральных столиц, такие школы имеются почти исключительно в региональных столицах; в селах их нет. (Напомним, что в РФ около 25% [8] сельского населения.)

Из таблицы видно, что на макрорегиональном уровне высокие показатели продолжительности жизни сочетаются с высокими показателями успешности вузов; исключением является Северный Кавказ с высокой продолжительностью жизни и крайне низким представительством в топ-100. Территориальное распределение успешных школ существенно иное. Центральное Черноземье и Юго-Запад, несмотря на количество топовых вузов и продолжительность жизни, имеют незначительное число лучших школ.

Балльная оценка топ-100 вузов и средних школ и показатели социально-экономического развития в макрорегиональном разрезе

Макрорегионы	Суммарный балл вузов	Суммарный балл школ	Ожидаемая продолжительность жизни, лет	Душевой доход	Количество выданных патентов на изобретения и полезные модели на 100 тыс. человек
Центральное Черноземье	15,7	0,5	72,3	27 225,3	16,6
Центральное Нечерноземье	15,2	5,2	71,6	27 411,3	23,3
Северо-Запад	4	0	71,1	25 980,2	7
Северо-Восток Европейской части	1,9	0,6	71,5	31 984,8	6,7
Северный Кавказ	1,9	0	76	20 780,8	5,3
Юго-Запад	11,2	1,2	73,5	28 072	13,6
Поволжье	32,1	4,2	72,9	22 869	18,4
Урал	13	5,5	71,3	26 167,1	15,5
Западная Сибирь	30,3	3,1	71,8	31 365,7	14,9
Восточная Сибирь	6,1	0	69,8	24 826,9	9,4
Дальний Восток	5,1	0	69,2	42 563,5	11,4
Москва	94,6	24,2	77,9	62 532	62,5
Санкт-Петербург	32,8	4,8	77,5	42 133	47,4

Вполне очевидное предположение, что в макрорегионах с более богатым населением должно быть больше и успешных вузов, и средних школ, приведенными данными не всегда подтверждается.

Данные таблицы указывают на существование связи количества успешных вузов и количества выданных патентов на изобретения и полезные модели.

Ранее [9] мы обратили внимание на наличие обширного ареала социально-экономического отставания в восточной части РФ. Образовательные характеристики при выявлении этого ареала не учитывались. По некоторым социально-экономическим позициям отстающими являются все субъекты РФ восточнее Красноярского края, но по ряду позиций океаническая часть Дальнего Востока имеет вполне благоприятные показатели, в том числе по темпам экономического развития. Таким образом, в самом неблагоприятном социально-экономическом положении находятся субъекты РФ, образующие ареал, о котором речь шла в п. 4 перечня обстоятельств, характеризующих размещение лучших вузов РФ. По нашему мнению, такое территориальное распределение уровней социально-экономического развития не только является нежелательным с точки зрения жителей отстающих регионов, но и способно создать негативные следствия для РФ в целом. Тенденция к формированию двух ареалов относительно быстрого роста – Западного и Дальневосточного, разделенных Байкало-амурским депрессивным ареалом, может привести к нарушению континуальности социально-экономического пространства РФ. В этом контексте нужно учесть пространственную отдаленность восточных макрорегионов РФ, особенно Дальнего Востока, от исторического ядра нашей страны и пространственную близость к сильным геополитическим и геоэкономическим акторам (Китаю, Японии, Южной Корее, США); следует обратить внимание и на распространенность протестного электорального поведения в восточных макрорегионах РФ [10].

Приведем новейшие электоральные данные – результаты Общероссийского голосования по вопросу одобрения изменений в Конституцию Российской Федерации (01.07.2020 г.) в макрорегиональном разрезе и РФ в целом. В качестве показателя мы используем процент проголосовавших «за» от списочного состава избирателей. Наибольшая поддержка внесения измене-

ний в Конституцию РФ наблюдается на Северном Кавказе (72,3), Юго-Западе (70,1); преодолели 50%-ный порог Центральное Черноземье (58,4), Санкт-Петербурге (57,9) и Поволжье (56,2); все остальные макрорегионы РФ не набрали 50% голосов избирателей. Перечислим макрорегионы в порядке снижения данного показателя: Западная Сибирь (47,7), Урал (47,2), Восточная Сибирь (45,6), Дальний Восток (43,4), Центральное Нечерноземье (42,6), Северо-Запад (42,4), Северо-Восток Европейской части России (34,2) и Москва (36,3). Надо учитывать, что в Москве протестное электоральное поведение имеет в значительной мере иную основу, чем в других макрорегионах. Всего в РФ «за» проголосовали 51,4% избирателей, а с учетом избирателей г. Байконур и проголосовавших за пределами РФ – 52,9%. Таким образом, большинство российских избирателей поддержали поправки, однако нужно учитывать значительные различия между макрорегионами РФ.

Восточная Сибирь и Дальний Восток находятся в группе, где большая часть избирателей либо не поддержали внесения поправок в Конституцию РФ, либо проигнорировали Референдум. Хотя в России имеются и другие ареалы протестного электорального поведения (некоторые регионы на севере Европейской части, например), именно восточный ареал заслуживает наибольшего внимания в связи с отмеченными обстоятельствами.

В картину отставания восточных макрорегионов вполне вписывается распределение лучших вузов и школ в РФ. Как известно, элитные школы и элитные вузы – кузница значительной части будущей политической, экономической, научной элиты. Отставание восточных макрорегионов РФ в сфере образования способно привести к ослаблению их участия в элитогенезе РФ и, как следствие, к некоторому отчуждению российской элиты от проблем этих макрорегионов. Восточная Сибирь и Дальний Восток отстают от большинства макрорегионов России и по количеству выданных патентов на изобретения и полезные модели.

По нашему мнению, одним из направлений региональной политики РФ должно быть преодоление отставания регионов Байкало-амурского депрессивного ареала. Эта задача, учитывая многочисленность и взаимосвязанность аспектов указанного отставания, требует масштабных усилий со стороны государства и выбора наиболее перспективных направлений активности.

Развитие сферы образования может быть одним из таких направлений.

Потенциальными «точками роста» в этом ареале, включая образовательную сферу, являются прежде всего г. Иркутск и г. Владивосток. Успешное развитие Западной Сибири и Красноярского края показывает возможные перспективы Восточной Сибири. В XIX в. самыми образованными городами Сибири были Томск и Иркутск. В дальнейшем Томск стал одним из лидирующих центров высшего образования в РФ, Иркутск же далеко отстал от многих сравнимых с ним по размерам городов России. Тем не менее немалый интеллектуальный, институциональный (в сфере образования) потенциал в Иркутской области сохраняется. Можно надеяться, что в сочетании с высокой обеспеченностью природными ресурсами, развитостью некоторых отраслей обрабатывающей промышленности он станет фактором опережающего развития этого региона.

По количеству элитных школ выявляется еще один ареал отставания, охватывающий Центральное Черноземье, Юго-Запад и Северный Кавказ. Регионы, входящие в этот ареал, не имеют комплексного социально-экономического отставания, за исключением северокавказских республик (где характеристики отставания имеют специфику, которую мы сейчас не рассматриваем), поэтому более предрасположены к преодолению отставания по элитным школам в сравнении с регионами Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Выводы

Среди макрорегионов России по качеству и школьного, и высшего образования лидирует г. Москва.

Макрорегионами – лидерами по качеству и школьного и высшего образования являются Урал, Поволжье, Санкт-Петербург, Центральное Нечерноземье и Западная Сибирь.

Сильные позиции по вузам, но слабые по школам имеют Юго-Запад и Центральное Черноземье.

Макрорегионов, в которых сочетаются сильные позиции по школам и слабые по вузам, нет.

Слабые позиции и по школам, и по вузам имеют Северо-Запад, Северо-Восток Европейской части, Северный Кавказ, Восточная Сибирь и Дальний Восток.

Отставание Восточной Сибири и Дальнего Востока в образовательной сфере вписывается в картину их комплексного соци-

ально-экономического отставания и потому требует особого внимания.

Исследование выполнено за счет средств государственного задания АААА-А17-117041910166-3.

Список литературы / References

1. Доклад о человеческом развитии 2013. Возвышение Юга: человеческий прогресс в многообразном мире. Программа развития Организации Объединенных Наций. New York, 2013. 216 с.

Human Development Report 2013. The Rise of the South: Human Progress in a Diverse World. United Nations Development Program. New York, 2013. 216 p.

2. Сперанская Л.Н. Экономические взгляды В. Петти // Всемирная история экономической мысли: В 6 томах. Т. I. От зарождения экономической мысли до первых теоретических систем политической жизни / гл. ред. В.Н. Черковец. М.: Мысль, 1987. С. 428–434.

Speranskaya L.N. V. Petty's Economic Views. From the birth of economic thought to the first theoretical systems of political life // World history of economic thought: In 6 volumes. Vol. I / gl. red. V.N. Cherkovets. M.: Mysl', 1987. P. 428–434 (in Russian).

3. Всемирная история экономической мысли: В 6 т. Т. 2. От Смита и Рикардо до Маркса и Энгельса / МГУ им. М.В. Ломоносова; Гл. редкол.: В.Н. Черковец (гл. ред.) и др. М.: Мысль, 1988. 574 с.

World history of economic thought: In 6 volumes. V. 2. From Smith and Ricardo to Marx and Engels / MGU im. M.V. Lomonosova; Gl. redkol.: V.N. Cherkovets (gl. red.) i dr. M.: Mysl', 1988. 574 p. (in Russian).

4. Капелюшников Р.И. Сколько стоит человеческий капитал России? М.: ВШЭ, 2012. 76 с.

Kapelyushnikov R.I. How much is Russia's human capital worth? М.: VSHE, 2012. 76 p. (in Russian).

5. Курганский С.А. Человеческий капитал: сущность, структура, оценка. Иркутск: Изд. БГУЭП, 2003. 235 с.

Kurganskiy S.A. Human capital: essence, structure, assessment. Irkutsk: Izd. BGUEP, 2003. 235 p. (in Russian).

6. Путин В.В. Международные рейтинги вузов являются инструментом борьбы на рынке образования. [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/obschestvo/8815237> (дата обращения: 15.08.2020).

Putin V.V. International rankings of universities are an instrument of struggle in the education market. [Electronic resource]. URL: <https://tass.ru/obschestvo/8815237> (date of access: 15.08.2020) (in Russian).

7. RAEX. ТОП-100 вузов России. [Электронный ресурс]. URL: https://raex-rr.com/education/universities/rating_of_universities_of_russia (дата обращения: 15.08.2020).

RAEX. TOP-100 Russian universities. [Electronic resource]. URL: https://raex-rr.com/education/universities/rating_of_universities_of_russia (date of access: 21.08.2020) (in Russian).

8. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2018: P32 Стат. сб. / Росстат. М., 2018. 1162 с.

Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2018: R32 Stat. Sat. / Rosstat. M., 2018. 1162 p. (in Russian).

9. Попов П.Л., Черенев А.А., Сараев В.Г., Галёс Д.А. Ареал социально-экономического отставания и протестного электорального поведения в восточной части РФ // Власть. 2019. Т. 27. № 2. С. 43–51. DOI: 10.31171/vlast.v27i2.6296.

Popov P.L., Cherenov A.A., Saraev V.G., Galyos D.A. The area of socio-economic backwardness and protest electoral behavior in the eastern part of the Russian Federation // Power. 2019. V. 27. № 2. P. 43–51 (in Russian).

10. Popov P.L., Cherenov A.A., Saraev V.G., Gales D.A. Electoral Support of Parties in Eastern Siberia: The Macrorregional and Regional Aspects. Geography and Natural Resources. 2019. Vol. 40. no 3. P. 285–291. DOI: 10.1134/S1875372819030119.

УДК 504.06(470-25)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЛЕДОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (CU, SB, PB, V, ZN) НА ТЕРРИТОРИИ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН МОСКВЫ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНИКИ «МОХ В МЕШКАХ»

^{1,2}Швецова М.С., ^{1,2}Каманина И.З., ^{1,3}Мададзада А.И., ¹Нехорошков П.С.,
¹Юшин Н.С., ^{1,4}Зиньковская И.И., ¹Павлов С.С., ¹Фронтасьева М.В.

¹Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, e-mail: mks@nf.jinr.ru,
p.nekhoroshkov@gmail.com, unik_62@mail.ru, pavlov@nf.jinr.ru, marina@nf.jinr.ru;

²Государственный университет «Дубна», Дубна, e-mail: kamanina@uni-dubna.ru;

³Национальный центр ядерных исследований, Баку, e-mail: a.i.madadzada@gmail.com;

⁴Национальный институт исследований и разработок в области физики
и ядерной инженерии им. Хория Хулубей, Мэгуреле, e-mail: zinikovskaia@mail.ru

Мониторинг качества атмосферного воздуха является необходимым мероприятием на территории городов. Выбросы промышленных предприятий и автотранспорта сильно влияют на качество воздуха. Опасность представляет загрязнение тяжелыми металлами, которые способны накапливаться в организме человека. Контроль содержания металлов в атмосферном воздухе на территории городов в основном не ведется из-за сложного процесса отбора и анализа проб. Экологический мониторинг парковых и особо охраняемых природных территорий должен проводиться качественно и на регулярной основе, поскольку они выполняют рекреационную роль. В качестве альтернативного метода биомониторинга используется техника «мох в мешках», которая является экономичным и простым способом оценки загрязнения воздуха тяжелыми металлами. Для проведения исследования был выбран мох *Sphagnum girgensohnii*, собранный в Тверской области, обладающий хорошими аккумулятивными способностями. Цель данной работы состояла в оценке загрязнения атмосферного воздуха рекреационных зон Москвы следовыми элементами Cu, Sb, Pb, V и Zn. Для проведения эксперимента были выбраны семь парков наиболее популярных и посещаемых в Москве: «Царицыно», «Парк Победы», «Кузьминки-Люблино», «Останкино», «Измайлово», «Лосинный остров» и «Сокольники». Концентрации Sb, V и Zn в образцах определяли с помощью инструментального нейтронного активационного анализа, концентрации Pb и Cu – методом атомной абсорбционной спектрометрии. Увеличение концентраций Cu, Sb, Pb, V и Zn в образцах мха за время экспонирования говорит о наличии антропогенного загрязнения атмосферного воздуха. Данная методика рекомендуется к применению совместно с государственной системой мониторинга атмосферного воздуха на территории городов.

Ключевые слова: активный биомониторинг, *Sphagnum girgensohnii*, нейтронный активационный анализ, атомная абсорбция, рекреационные зоны

DETERMINATION OF TRACE ELEMENTS (CU, SB, PB, V, ZN) IN THE TERRITORY OF RECREATION ZONES OF MOSCOW USING THE «MOSS BAGS» TECHNIQUE

^{1,2}Shvetsova M.S., ^{1,2}Kamanina I.Z., ^{1,3}Madadzada A.I., ¹Nekhoroshkov P.S.,
¹Yushin N.S., ^{1,4}Zinikovskaya I.I., ¹Pavlov S.S., ¹Frontaseva M.V.

¹Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, e-mail: mks@nf.jinr.ru, p.nekhoroshkov@gmail.com,
unik_62@mail.ru, pavlov@nf.jinr.ru; marina@nf.jinr.ru;

²State University «Dubna», Dubna, e-mail: kamanina@uni-dubna.ru;

³National Nuclear Research Centre, Baku, e-mail: a.i.madadzada@gmail.com;

⁴Khoria Khulubei National Institute for R&D in Physics and Nuclear Engineering,
Magurele, e-mail: zinikovskaia@mail.ru

Monitoring of air quality is a necessary undertaking in urban areas. Emissions from industrial activity and vehicles strongly affect air quality. A particularly serious hazard represents pollution with heavy metals that can accumulate in the human body. Monitoring of the content of metals in the atmospheric air in urban areas is generally not carried out due to the complex process of sampling and analysis of samples. Environmental monitoring on the territory of parks and protected zones should be carried out efficiently and on a regular basis, since they play a recreational role. As an alternative method of biomonitoring, the «moss bags» technique, which is cost-effective and simple method of air pollution with heavy metals is used. The moss *Sphagnum girgensohnii*, collected in Tver region, characterized with a good accumulative capacity was chosen in the present study. The goal of this study is assessment of air pollution with trace elements Cu, Sb, Pb, V и Zn in the recreational zones of Moscow. For the experiment were chosen seven parks of the most popular and visited in Moscow: Tsaritsyno, Victory Park, Kuzminki-Lublino, Oostankino, Izmailovo, Elk Island and Sokolniki. The concentrations of Sb, V and Zn in the moss samples were determined by instrumental neutron activation analysis, while concentration of Pb and Cu by atomic absorption spectrometry. Increase of the concentration of Cu, Sb, Pb, V and Zn in moss samples during exposure period indicates an anthropogenic pollution of atmospheric air. The technique is recommended for implementation along with the State monitoring system of atmospheric air in urban areas.

Keywords: active biomonitoring, *Sphagnum girgensohnii*, neutron activation analysis, atomic absorption, recreational zones

Атмосферный воздух на территории крупных городов подвержен антропогенному воздействию за счет выбросов промышленных предприятий и автотранспорта [1]. Согласно данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году», качество воздуха в городах постепенно улучшается, но по ряду показателей по-прежнему остается неудовлетворительным. Отбор проб воздуха и их анализ является сложным процессом, поэтому контроль над содержанием металлов в воздухе, как правило, не ведется. Среди загрязняющих веществ тяжелые металлы (ТМ) занимают особое место, поскольку они являются токсичными и могут накапливаться в организме. ТМ поступают в окружающую среду при добыче полиметаллических руд, с автомобильными выхлопами, при использовании химикатов в сельском хозяйстве. Источниками ТМ также являются металлургические предприятия, электростанции, работающие на угле, и др. В данной работе рассмотрено загрязнение атмосферного воздуха следовыми элементами, большая часть которых, согласно классификации Дж. Вуда, является токсичными (Cu, Pb, Sb, Zn). К первому классу опасности относятся Pb и Zn, Cu и Sb – ко второму и V – к третьему. При этом представляет опасность возможность переноса ТМ на большие расстояния от источника загрязнения.

Контроль за загрязнением воздуха на территории столицы ведется Московской системой мониторинга атмосферного воздуха, созданной в 1996 г. по решению Правительства Москвы и насчитывающей в настоящий момент 56 автоматических станций. На данных станциях контроль за содержанием тяжелых металлов в воздухе не ведется. Центральное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС) на территории Москвы осуществляет контроль загрязнения воздуха на 16 станциях, на четырех станциях данной сети ведется контроль за содержанием в воздухе Pb, Ni, Cu, Fe, Mn, Cr, Zn, Cd и Co. Расположение станций сети «Центрального УГМС» представлено на рис. 1. Количество измерений и контролируемых элементов ограничено высокой стоимостью и трудоемкостью отбора и анализа проб.

С 1960 г. стал развиваться метод определения атмосферных выпадений тяжелых металлов с использованием наземных мхов-биомониторов. Данный метод используется для рутинного биомониторинга в скан-

динавских странах, широко применяется в странах западной Европы в рамках программы ООН по воздуху Европы (<https://icrvegetation.ceh.ac.uk/>). На территории России исследования проводились в северо-западных регионах, в промышленных районах Урала, и в Центральной России. Метод основан на сборе наземных мхов на исследуемой территории для проведения аналитических измерений. Однако для оценки атмосферных выпадений тяжелых металлов на территории Москвы он не подходит, поскольку даже в парковых и особо охраняемых природных зонах мох зачастую отсутствует.

В 1971 г. Гудман и Робертс предложили использовать технику «мох в мешках», которая заключается в сборе мха в относительно чистом (фоновом регионе) и экспонировании его на исследуемой территории в специальных проницаемых для воздуха мешочках. Технику «мох в мешках» использовали для изучения загрязнения атмосферного воздуха в Азербайджане, Италии, Румынии [2–4]. Изучение атмосферных выпадений с помощью данной техники проводили на территории Молдовы, Испании, Китая [5–7]. Больше всего исследований с использованием данной техники было проведено на территории Сербии [8–10]. Накопление элементов в экспонированном мхе зависит от условий окружающей среды, климата и периода проведения эксперимента. Элементы, поступающие в растворенном или взвешенном виде с осадками, могут быть задержаны в результате физико-химических процессов (ионный обмен), пассивного и активного внутриклеточного поглощения [8]. Техника «мох в мешках» является наиболее дешевой и простой в использовании. Не требует электропитания и другого специального обслуживания. Сбор мха и его пробоподготовка перед проведением эксперимента значительно проще существующих методов контроля загрязнения воздуха. Также преимущество данной техники в возможности выбора исследуемой территории, количества исследуемых точек, выборе времени экспонирования. Техника «мох в мешках» позволяет изучить территорию, на которой провести пассивный биомониторинг невозможно из-за отсутствия мха. Применение техники «мох в мешках» совместно с методом инструментального нейтронного активационного анализа позволяет определить большое количество (около 55) химических элементов.

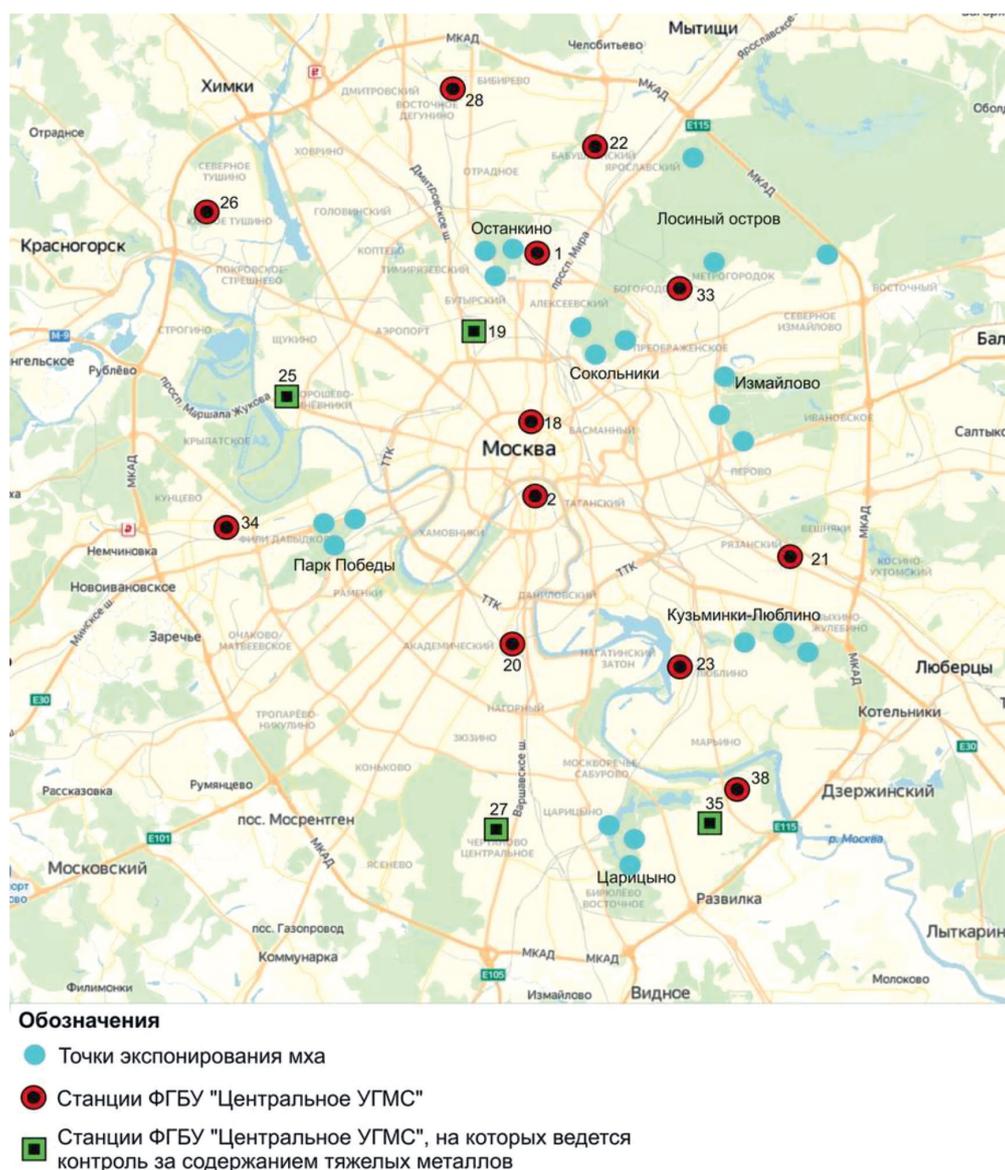


Рис. 1. Карта Москвы с указанием точек экспонирования мха и станций контроля загрязнения атмосферного воздуха ФГБУ «Центральное УГМС»

Цель исследования: использование техники «мох в мешках» для определения следовых элементов (Cu, Sb, Pb, V и Zn) в составе атмосферного воздуха на территории рекреационных зон Москвы.

Материалы и методы исследования

Активный биомониторинг с использованием техники «мох в мешках» был проведен на территории семи парков Москвы (Сокольники, Лосиный остров, Измайлово, Царицыно, Парк Победы, Кузьминки-Люблино и Останкино) в период с июня по сен-

тябрь 2018 г. Для экспонирования был выбран мох вида *Sphagnum girgensohnii*. Особенностью сфагновых мхов является отсутствие ризоидов, заменяющих корни, поэтому практически все элементы, аккумулируемые мхом, поступают из атмосферы. Проведенные ранее исследования показали целесообразность использования для техники «мох в мешках» видов *Sphagnum*. Эти виды хорошо удерживают воду и обладают высокой катионообменной способностью, быстро накапливают катионы из дождевой воды и сухих выпадений, выделяя ионы во-

дорода взамен. Клеточная стенка мха действует как ионообменник [8]. Мох был собран в мае 2018 г. в водно-болотном угодье Тверской области там же, где его собирали в предыдущих исследованиях [2, 5]. Пробоподготовка мха перед экспонированием в парках подробно описана в работе [11].

Мешочки со мхом развешивали на территории каждого парка в трех точках с разной антропогенной нагрузкой (рис. 2). Экспонирование проводилось в течение трех месяцев с июня по сентябрь. Каждый месяц снимали по 3 мешочка с каждой точки, после чего доставляли в лабораторию для хранения в изолированном от загрязнений месте. Один неэкспонированный образец хранили в лаборатории и использовали в качестве контроля при расчетах. В конце эксперимента, перед проведением анализа, мох изымали из мешочков и гомогенизировали с помощью мельницы с агатовыми камнями.

Концентрации Sb, V и Zn в образцах мхов и контрольном образце определяли методом инструментального нейтронного активационного анализа (ИНАА) в Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка (ЛНФ) Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ). Измерения проводились на установке РЕГАТА реактора ИБР-2. НАА выполнялся «относительным методом» путем сравнения активностей радионуклидов, образующихся при одно-

временном облучения нейтронами исследуемых образцов и стандартов, в которых известны сертифицированные значения концентраций элементов. В качестве эталонов сравнения использовали стандартные образцы с сертифицированными значениями концентраций элементов: USGS AGV2 (Андезит), NIST 1632с (уголь (Битумный)), NIST 2709 (почва Сан-Хоакин).

Концентрации Cu и Pb в образцах мха определяли с использованием атомного абсорбционного спектрометра iCE 3300 AAS с электротермической (графитовая печь) атомизацией (Thermo Fisher Scientists, Waltham, MA, USA). Минерализацию образцов проводили с помощью микроволновой системы (Mars; CEM, Matthews, NC, USA). Навеску мха (примерно 0,3 г) помещали в тефлоновый сосуд, добавляли 5 мл концентрированной азотной кислоты и 1 мл перекиси водорода. Разложение образцов проводили в два этапа: 1 – температура 160 °С, 15 мин., мощность 400 Вт, давление 20 бар; 2 – температура 160 °С, выдержка 10 мин, мощность 400 Вт, давление 20 бар. Полученный раствор переносили в калибровочные колбы и доводили до объема 100 мл бидистиллированной водой. Для контроля качества результатов анализа были использованы стандартные материалы NIST SRM 1570a (листья шпината) и SRM 1575a (хвоя сосны).



Рис. 2. Экспонирование мешков в парке / мешок со мхом

Таблица 1

Концентрации следовых элементов во мхах после трех месяцев экспонирования, (мкг/г)

Элемент	1 точка	2 точка	3 точка	Контроль
Измайлово				
V	1,2 ± 0,1	3,0 ± 0,2	1,2 ± 0,1	0,6 ± 0,1
Zn	41 ± 2	54 ± 8	36 ± 5	30 ± 5
Sb	1,1 ± 0,1	2,0 ± 0,2	1,9 ± 0,2	0,06 ± 0,01
Cu	9,0 ± 0,1	11,8 ± 0,4	6,63 ± 0,04	4,89 ± 0,02
Pb	3,9 ± 0,2	6,0 ± 0,1	4,14 ± 0,03	3,11 ± 0,08
Кузьминки-Люблино				
V	1,3 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,6 ± 0,1	0,6 ± 0,1
Zn	51 ± 3	43 ± 2	41 ± 2	30 ± 5
Sb	1,6 ± 0,1	1,8 ± 0,2	1,8 ± 0,2	0,06 ± 0,01
Cu	7,8 ± 0,2	6,0 ± 0,2	5,9 ± 0,1	4,89 ± 0,02
Pb	4,42 ± 0,05	4,96 ± 0,02	4,48 ± 0,14	3,11 ± 0,08
Лосиный остров				
V	0,94 ± 0,08	5,6 ± 0,4	1,1 ± 0,1	0,6 ± 0,1
Zn	44 ± 2	119 ± 6	37 ± 2	30 ± 5
Sb	2,1 ± 0,2	3,5 ± 0,3	2,2 ± 0,2	0,06 ± 0,01
Cu	6,09 ± 0,02	21,17 ± 0,01	6,04 ± 0,18	4,89 ± 0,02
Pb	4,18 ± 0,04	5,73 ± 0,12	4,08 ± 0,14	3,11 ± 0,08
Останкино				
V	1,14 ± 0,09	1,0 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,6 ± 0,1
Zn	42 ± 2	40 ± 2	42 ± 6	30 ± 5
Sb	1,2 ± 0,1	2,3 ± 0,2	2,0 ± 0,2	0,06 ± 0,01
Cu	6,12 ± 0,02	5,8 ± 0,2	7,72 ± 0,02	4,89 ± 0,02
Pb	6,1 ± 0,1	4,7 ± 0,1	5,0 ± 0,1	3,11 ± 0,08
Сокольники				
V	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,6 ± 0,1
Zn	47 ± 7	45 ± 7	38 ± 6	30 ± 5
Sb	1,2 ± 0,1	1,3 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,06 ± 0,01
Cu	7,81 ± 0,03	7,86 ± 0,02	7,29 ± 0,05	4,89 ± 0,02
Pb	4,841 ± 0,002	3,11 ± 0,03	4,89 ± 0,01	3,11 ± 0,08
Парк Победы				
V	1,1 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,7 ± 0,1	0,6 ± 0,1
Zn	60 ± 4	38 ± 5	60 ± 3	30 ± 5
Sb	1,2 ± 0,1	2,3 ± 0,2	1,4 ± 0,1	0,06 ± 0,01
Cu	6,6 ± 0,1	8,1 ± 0,1	8,0 ± 0,2	4,89 ± 0,02
Pb	4,42 ± 0,01	5,29 ± 0,02	4,9 ± 0,1	3,11 ± 0,08
Царицыно				
V	2,4 ± 0,2	1,3 ± 0,1	–	0,6 ± 0,1
Zn	62 ± 3	46 ± 2	–	30 ± 5
Sb	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	–	0,06 ± 0,01
Cu	11,0 ± 0,3	7,5 ± 0,1	35,0 ± 0,5	4,89 ± 0,02
Pb	5,8 ± 0,1	4,37 ± 0,05	10,7 ± 0,5	3,11 ± 0,08

Результаты исследования и их обсуждение

Концентрации исследованных элементов в точках, испытывающих наибольшую антропогенную нагрузку, как правило, увеличивались со временем экспонирования. В связи с этим нами было рассмотрено на-

копление элементов мхами после трех месяцев экспонирования. Содержание следовых элементов во мхах представлено в табл. 1.

Высокое, по сравнению с фоновыми значениями, содержание цинка (119 мкг/г) отмечается в образцах мха, экспонированных на территории «Лосиного острова» в непосредственной близости от МКАД.

В остальных образцах концентрация цинка значительно ниже и варьируется в пределах от 37 до 62 мкг/г. Источником цинка может быть дорожное покрытие, в котором он содержится. Цинк может поступать в окружающую среду при истирании автомобильных шин, эрозии оцинкованных поверхностей [12].

Содержание меди в образцах экспонированного мха находится в среднем на уровне 9,5 мкг/г. Ее максимальное содержание отмечается в зоне влияния крупных автомагистралей, в точке 2 «Лосино острова» (21,2 мкг/г) и точке 3 парка «Царицыно» (35,0 мкг/г). Медь присутствует в отработанных газах автомобильных двигателей [12] и может поступать в воздух при истирании тормозных колодок [1].

Содержание свинца в исследуемых образцах колеблется в диапазоне от 3,1 до 6,1 мкг/г, за исключением точки 3 в парке «Царицыно», где содержание свинца составляет 10,7 мкг/г. Свинец может поступать в атмосферный воздух при сжигании мусора, износе автомобильных покрышек, от промышленных предприятий и др. [1, 13].

Содержание ванадия в образцах экспонированного мха на территории парков «Кузьминки-Люблино», «Останкино», «Сокольники», «Парк Победы» довольно равномерно и варьирует от 0,9 до 1,7 мкг/г. Обращает внимание высокое содержание ванадия в образцах мха в точке 2 «Лосино острова» и точке 2 парка «Измайлово». Обе точки находятся в зоне влияния загруженных автомагистралей. Источниками поступления ванадия в атмосферу являются отработанные газы бензиновых двигателей и выбросы теплоэлектростанций.

Высокое содержание сурьмы отмечается в образцах мха, экспонированных на территории «Лосино острова» (2,1–3,5 мкг/г), в точке 2 парка Победы (2,3 мкг/г), точке 2 парка «Останкино» (2,3 мкг/г). В последнее время сурьма рассматривается как один из наиболее опасных загрязнителей из-за высокой токсичности и распространенности. Сурьма может поступать в окружающую среду при торможении автомобильного транспорта, поскольку входит в состав материала тормозных колодок.

Для оценки техногенной нагрузки Н.С. Касимов [14] предложил использовать коэффициент техногенной концентрации (K_c), отражающий степень антропогенного загрязнения. Коэффициент был рассчитан для образцов после трех месяцев экспони-

рования в парках относительно контрольного образца по формуле

$$K_c = K_{\text{мox}} / K_{\text{контроль}} \quad (1)$$

$K_{\text{мox}}$ – концентрация во мхе после экспонирования;

$K_{\text{контроль}}$ – концентрация элемента во мхе, не подверженном экспонированию.

Полученные в результате расчетов коэффициенты техногенной концентрации K_c представлены в табл. 2. Для всех изучаемых следовых элементов коэффициент техногенной концентрации выше единицы во всех точках обследованных парков.

Фернандес и Карбальейра [15] для коэффициента техногенной нагрузки, обозначаемого авторами как CF (contamination factor), была предложена классификация, согласно которой авторы выделяют шесть категорий загрязнения: K1 (нет загрязнения) – $K_c < 1$; K2 (предполагаемое загрязнение) – $K_c 1-2$; K3 (слабое загрязнение) – $K_c 2-3,5$; K4 (умеренное загрязнение) – $K_c 3,5-8$; K5 (сильное загрязнение) – $K_c 8-27$; K6 экстремальное загрязнение – $K_c > 27$. Коэффициенты, представленные в табл. 2, рассчитаны в соответствии с этой классификацией.

Как показали расчеты, экстремально высокий коэффициент техногенной нагрузки (19–58) отмечается для сурьмы. Самые высокие значения K_c для сурьмы отмечаются на территории парка «Лосиный остров» (35–58), максимальные в точке, примыкающей к МКАД (табл. 2). В этой точке также зафиксировано умеренное загрязнение по меди (4, 3), цинку (4) и сильное загрязнение по ванадию (9).

В парке «Царицыно» на территории, примыкающей к Новоцарицынскому шоссе, выявлено умеренное загрязнение (K5) по меди (7,1). Концентрации V, Zn и Sb в третьей точке парка «Царицыно» не были определены по техническим причинам. Умеренное загрязнение по ванадию (4,6) и слабое загрязнение по меди (2,4) отмечается также в парке «Измайлово» в непосредственной близости от Северо-Восточной хорды. Слабое загрязнение по ванадию отмечается также на территории парков «Кузьминки-Люблино» (2,4) и «Парк Победы» (2,3–2,7).

Таким образом, во всех обследованных точках отмечается загрязнение от сильного до опасного по сурьме, от сильного до предполагаемого загрязнения по ванадию. Загрязнение по цинку относится к категории предполагаемое загрязнение везде, кроме второй точки парка «Лосиный остров», в которой выявлено умеренное загрязнение

данным элементом. Загрязнение по меди относится к категории умеренное загрязнение в точке 3 парка «Царицыно» и точке 2 парка «Лосиный остров»; к категории слабое загрязнение относятся первая точка парка «Царицыно» и вторая точка парка «Измайлово», а остальные точки парков относятся к категории предполагаемое загрязнение. Все обследованные территории парков по свинцу относятся к категории предполагаемое загрязнение, а в точке 2 парка «Сокольники» загрязнение отсутствует, K_c равен 1.

Для оценки накопления химических элементов, экспонированным мхом при проведении активного биомониторинга, принято также рассчитывать относительный коэффициент накопления (ОКН). В зарубежной литературе ОКН обозначается как RAF (relative accumulation factor) [5].

В данной работе ОКН для оценки содержания в атмосферном воздухе следовых элементов Cu, Sb, Pb, V, Zn рассчитывали по формуле

$$\text{ОКН} = \frac{(K_{\text{эксп.}} - K_{\text{контроль}})}{K_{\text{контроль}}}, \quad (2)$$

$K_{\text{эксп.}}$ – концентрация элемента в экспонированном мхе;

$K_{\text{контроль}}$ – концентрация элемента во мхе, не подверженном экспонированию в парке.

По мнению Rong Hu, Yun Yan и др. [7], коэффициент ОКН > 1 свидетельствует о значительном накоплении элемента, коэффициент < 0,5 указывает на незначительное накопление.

ОКН для всех парков также был рассчитан для образцов мха после трех месяцев экспонирования. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения относительного коэффициента накопления (ОКН), коэффициента концентрации (K_c) и категории K_c на территории рекреационных зон Москвы

Показатели	Cu 1/2/3 точка	Pb 1/2/3 точка	Sb 1/2/3 точка	Zn 1/2/3 точка	V 1/2/3 точка
Царицыно					
K_c	2,2/1,5/7,1	1,9/1,4/3,4	25/25/*	2/1,5/*	4/2/*
Категория K_c	K3/K2/K4	K2/K2/K3	K5/K5/*	K2/K2/*	K4/K2/*
ОКН	1,2/0,5/6,1	0,9/0,4/2,4	24/24/*	1/0,5/*	3/1/*
Останкино					
K_c	1,2/1,2/1,6	2/1,5/1,6	20/38/33	1,4/1,3/1,4	1,8/1,6/1,9
Категория K_c	K2/K2/K2	K2/K2/K2	K5/K6/K6	K2/K2/K2	K2/K2/K2
ОКН	0,2/0,2/0,6	1/0,5/0,6	19/37/32	0,4/0,3/0,4	0,8/0,6/0,9
Кузьминки-Люблино					
K_c	1,6/1,2/1,2	1,4/1,6/1,4	26/29/29	1,7/1,4/1,4	2/1,8/2,4
Категория K_c	K2/K2/K2	K2/K2/K2	K5/K6/K6	K2/K2/K2	K2/K2/K3
ОКН	0,6/0,2/0,2	0,4/0,6/0,4	25/28/28	0,7/0,4/0,4	1,1/0,8/1,4
Измайлово					
K_c	1,8/2,4/1,4	1,2/1,9/1,3	19/32/32	1,4/1,8/1,2	1,9/4,6/1,8
Категория K_c	K2/K3/K2	K2/K2/K2	K5/K6/K6	K2/K2/K2	K2/K4/K2
ОКН	0,8/1,4/0,4	0,2/0,9/0,3	18/31/31	0,4/0,8/0,2	0,9/3,6/0,8
Парк Победы					
K_c	1,3/1,7/1,6	1,4/1,7/1,6	19/38/24	2/1,3/2	1,7/2,3/2,7
Категория K_c	K2/K2/K2	K2/K2/K2	K5/K6/K5	K2/K2/K2	K2/K3/K3
ОКН	0,3/0,7/0,6	0,4/0,7/0,6	18/37/23	1/0,3/1	0,7/1,3/1,7
Лосиный остров					
K_c	1,2/4,3/1,2	1,3/1,8/1,3	35/58/36	1,5/4/1,2	1,5/9/1,7
Категория K_c	K2/K4/K2	K2/K2/K2	K6/K6/K6	K2/K4/K2	K2/K5/K2
ОКН	0,2/3,3/0,2	0,3/0,8/0,3	34/57/35	0,5/3/0,2	0,5/8/0,7
Сокольники					
K_c	1,6/1,6/1,5	1,6/1/1,6	20/20/19	1,6/1,5/1,3	1,8/1,8/1,4
Категория K_c	K2/K2/K2	K2/K1/K2	K5/K5/K5	K2/K2/K2	K2/K2/K2
ОКН	0,6/0,6/0,5	0,6/0/0,6	19/19/18	0,6/0,5/0,3	0,8/0,8/0,4

Примечание: * – нет данных.

Высокие ОКН меди выявлены в парке «Царицыно» в непосредственной близости от Новоцарицынского шоссе (6,1) и в первой точке (1,2), на территории «Лосино острова» в точке 2, примыкающей к МКАД (3,3), в Измайловском парке вблизи от СВХ (1,4). В остальных точках ОКН меди не превышает 0,8.

Высокие ОКН цинка выявлены на территории «Лосино острова» (3,0), примыкающей к МКАД. ОКН цинка на уровне 1 отмечается в точке 1 парка «Царицыно» и точках 1 и 3 парка Победы. Самые низкие значения ОКН (0,3–0,4) характерны для парка «Останкино».

Значительное накопление свинца отмечено только в точке 3 парка «Царицыно», ОКН составил 2,4. В девяти точках обследования ОКН для свинца меньше 0,5; в одиннадцати пробах от 0,5 до 1,0. Незначительное относительное накопление свинца даже на территориях, испытывающих влияние автотранспорта, связано с тем, что с 1 января 2003 г. запрещено использование, ввоз и реализация на территории РФ бензина с использованием тетраэтилсвинца в качестве добавки. Вместе с тем, как уже отмечалось, свинец может поступать в атмосферный воздух при сжигании мусора, износе автомобильных покрышек, от промышленных предприятий и др. [1, 13].

ОКН ванадия во мхах после трех месяцев экспонирования > 1 во всех точках парка «Царицыно», в точках 2 и 3 Парка Победы, в точке 2 парка «Лосиный остров», в точках 1 и 3 парка «Кузьминки-Люблино», а также в точке 2 парка «Измайлово».

ОКН сурьмы во всех исследуемых парках чрезвычайно высокий (18–57). Максимальные значения отмечаются на территории Лосино острова, примыкающей к МКАД. Самые низкие значения ОКН (18–19) во мхах, экспонированных в парке «Сокольники».

В последнее время обращают внимание на способность сурьмы аккумулироваться в биогенных образцах в условиях повышенной техногенной нагрузки. Техногенными источниками сурьмы являются предприятия цветной и черной металлургии, производство цемента, кирпича, а также сжигание угля. Сурьма накапливается как результат дорожного движения на территории даже с низкой антропогенной нагрузкой. Так на территории ботанического сада в городе Белград (Сербия) самый высокий ОКН выявлен для сурьмы (1,7; 1,3) [9]. Следует отметить, что относительный коэф-

фициент накопления в ботаническом саду Белграда значительно ниже, чем полученные для рекреационных зон Москвы. Полученные значения ОКН сурьмы в парках Москвы сопоставимы с результатами исследований, проведенными в разных странах на территориях с высокой антропогенной нагрузкой. Самые высокие значения относительного коэффициента накопления для сурьмы (> 40) были получены в Белграде [10] и в Кишинёве (ОКН равен 29) [5].

Наряду с автотранспортом вклад в загрязнение воздуха на территории парков могут вносить заводы и ТЭЦ, расположенные вблизи изучаемых территорий. Между парками «Кузьминки-Люблино» и «Царицыно», район Капотня, находится Московский нефтеперерабатывающий завод (ОАО «Газпром-нефть»), который может загрязнять атмосферный воздух веществами, образованными в результате переработки нефти. Напротив Капотни находится ТЭЦ № 22, загрязняющая атмосферный воздух в основном твердыми частицами золы, оксидами серы, оксидами азота, угарным газом и др. Вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносит мусоросжигательный завод № 3, расположенный недалеко от парка Царицыно. К негативно воздействующим производствам, расположенным рядом с исследуемыми парковыми территориями, можно отнести «Лосиноостровский электродный завод», «Бетонный завод 223», «Бирюлевский мясоперерабатывающий комбинат», Спецзавод № 3.

Согласно данным из ежегодника Федерального государственного бюджетного учреждения «Центральное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», за 2018 г. среднегодовые концентрации и максимальные величины из средних за месяц для Pb, Cu и Zn не превышают ПДК. Проведенное исследование с помощью техники «мох в мешках» позволяет выделить территории парков с более высокими концентрациями следовых элементов в основном в точках, расположенных в зоне влияния автомагистралей с интенсивным движением транспорта.

Выводы

Большая часть исследованных территорий по величине коэффициента техногенной концентрации (K_c) относится к категории предполагаемое загрязнение. Вместе с тем парковые и заповедные зоны Москвы подвержены негативному антропогенному воздействию. Накопление элементов

в экспонированных образцах мха наблюдалось не только в точках с высокой антропогенной нагрузкой, но и на территориях, находящихся вдали от видимых источников загрязнения.

Основным источником поступления рассматриваемых элементов в атмосферный воздух является автотранспорт. Самые высокие значения K_c и ОКН для Cu, Zn, Sb, Pb и V получены в точках, примыкающих к автомагистралям с интенсивным движением.

Коэффициент концентрации (K_c), отражающий степень антропогенного загрязнения для Sb во всех точках и парках, относится к категории сильного и экстремального загрязнения.

Регулярный мониторинг атмосферного воздуха помогает своевременно обнаружить проблему загрязнения и выявить потенциальные источники загрязнения. Техника «мох в мешках» может дополнить существующие стандартные методы контроля загрязнения атмосферного воздуха на территории Москвы.

Список литературы / References

1. Пепина Л.А., Созонтова А.Н. Загрязнение атмосферного воздуха автомобильно-дорожным комплексом // *Alfabuild*. 2017. № 1 (1). С. 99–110.
2. Pepina L.A., Sozontova A.N. Air pollution from the road complex // *Alfabuild*. 2017. № 1 (1). P. 99–110 (in Russian).
3. Afag I., Madadzada, Wael M., Badawy, Sevinj R., Hajiyeva, Zarifa T., Veliyeva, Orkhan B., Hajiyevev, Margarita S., Shvetsova, Marina V., Frontasyeva, Assessment of atmospheric deposition of major and trace elements using neutron activation analysis and GIS technology: Baku – Azerbaijan. *Microchemical Journal* 147. 2019. P. 605–614. DOI: 10.1016/j.microc.2019.03.061.
4. Calabrese S., D'Alessandro W., Bellomo S., Brusca L., Martin R.S., Saiano F., Parello, F., Characterization of the Etna volcanic emissions through an active biomonitoring technique (moss-bags): Part 1 – Major and trace element composition. *Chemosphere*. 2015. Vol. 119. P. 1447–1455. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.08.086.
5. Culicov O.A., Dului O.G., Zinicovscaia I., Study of elemental grouping in Moss-Bags as a function of height and location of the exposure site. *Romanian Reports in Physics*. 2016. Vol. 68. No. 2. P. 736–745.
6. Zinicovscaia I., Aničić Urošević M., Vergel K., Vieru E., Frontasyeva M., Povar I., Duca G., Active moss biomonitoring of trace elements air pollution in Chisinau, Republic of Moldova. *Ecological Chemistry and Engineering S*. 2018. Vol. 25(3). P. 361–372. DOI: 10.1515/eces-2018-0024.
7. Rivera M., Zechmeister H., Medina-Ramón M., Basagaña X., Foraster M., Bouso L., Moreno T., Solanas P., Ramos R., Köllensperger G., Deltell A., Vizcaya D., Künzli N., Monitoring of heavy metal concentrations in home outdoor air using moss bags. *Environmental Pollution*. 2011. Vol. 159. P. 954–962. DOI: 10.1016/j.envpol.2010.12.004.
8. Rong Hu, Yun Yan, Xiaoli Zhou, Yanan Wang, Yanming Fang – Monitoring Heavy Metal Contents with Sphagnum Junghuhnianum Moss Bags in Relation to Traffic Volume in Wuxi, China. *Int. Public Health*. 2018. 15. P. 374.
9. Aničić M., Tasić M., Frontasyeva M.V., Tomašević M., Rajšić S., Strelkova L.P., et al. Active biomonitoring with wet and dry moss: a case study in an urban area. *Environ Chem Lett*. 2009. 7. P. 55–60. DOI: 10.1007/s10311-008-0135-4.
10. Anicic M., Vuković G., Vuković P., Vujičić M., Sabovljević A., Sabovljević M., Tomašević M. Urban background of air pollution – evaluation through moss bag biomonitoring of trace elements in Botanical garden. *Urban forestry&Urban greening*, 2017. 25. P. 1–10.
11. Vuković G., Aničić Urošević M., Škrivanj S., Milićević T., Dimitrijević D., Tomašević M., Popović A. Moss bag biomonitoring of airborne toxic element decrease on a small scale: A street study in Belgrade, Serbia. *Science of the Total Environment*. 2016. Vol. 542. P. 394–403. DOI: 10.20944/preprints201703.0064.v1.
12. Shvetsova M.S., Kamanina I.Z., Frontasyeva M.V., Madadzada A.I., Zinicovscaia I.I., Pavlov S.S., Vergel K.N., Yushin N.S. Active moss biomonitoring using the «moss bag technique» in the park of Moscow. *Physics of Particles and Nuclei Letters*. 2018. Vol. 16(6). P. 994–1003. DOI: 10.1134/S1547477119060293.
13. Snezhko S.I., Shevchenko O.G. Источники поступления тяжелых металлов в атмосферу // *Ученые записки РГГМУ*. 2011. № 18. С. 35–37.
14. Snezhko S.I., Shevchenko O.G. Sources of heavy metals in the atmosphere // *Uchenyye zapiski RGGMU*. 2011. № 18. P. 35–37 (in Russian).
15. Теплая Г.А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы) // *Астраханский вестник экологического образования*. 2013. № 1 (23). С. 182–192.
16. Teplaya G.A. Heavy metals as a factor in environmental pollution (literature review), *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*. 2013. № 1 (23). P. 182–192 (in Russian).
17. Касимов Н.С. Экогеохимия ландшафтов. М.: ИП Филимонов М.В., 2013. 208 с.
18. Kasimov N.S. *Ecogeochemistry of landscapes*. М.: IP Filimonov M.V., 2013. 208 p. (in Russian).
19. Fernández J.A., Carballeira A. Evaluation of Contamination, by Different Elements, in Terrestrial Mosses. *Arch Environ Contam Toxicol*. 2000. 40. P. 461–466. DOI: 10.1007/s002440010198.

УДК 551.444:628.11

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ ХОЗЯЙСТВЕННОГО
ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД****¹Ямашкин А.А., ¹Ямашкин С.А., ²Зибров Г.В., ²Закусилов В.П.,
¹Зарубин О.А., ¹Мучкаева Н.С.**¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва», Саранск, e-mail: yamashkin56@mail.ru;²ФГКВБОУ ВО Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны
Российской Федерации, Воронеж, e-mail: vaiu@mil.ru

Статья посвящена вопросам геоэкологического анализа и прогноза хозяйственного освоения подземных вод в границах Республики Мордовия. Приводится анализ гидрогеодинамических и гидрогеохимических особенностей основного эксплуатируемого водоносного карбониферо-пермского карбонатного горизонта, зависящих от тектонических особенностей территории, литологического состава водовмещающих пород, а также тенденций водохозяйственного освоения. Задача прогнозирования геоэкологической ситуации реализована с использованием динамических рядов данных по водозаборным скважинам Саранского городского водозабора, включающих 30-летний цикл наблюдений. Прогнозирование основано на комбинированном применении жестких и мягких методов анализа, выбор которых определился особенностями решаемых проектных задач и характеристиками развития природных, социальных и экономических процессов. Основным компонентом сверточной сети для прогнозирования гидрогеохимических показателей качества подземных вод является временной сверточный модуль. Для обучения модели прогнозирования гидрогеохимических показателей использован алгоритм стохастического градиентного спуска. Эксперименты показывают, что хороший результат для решения задачи прогнозирования временных рядов дает архитектура ResNet, включающая сверточные слои и блоки субдескриптивизации, а также остаточные связи между последовательными слоями. Сравнение нескольких прогнозных вариантов, полученных различными схемами, способствовало принятию оптимальных результирующих решений по обеспечению устойчивого развития. В период до 2030 г. прогнозируется увеличение спектра показателей компонентов химического состава вод основного водоносного комплекса: хлоридов, сульфатов, натрия, сухого остатка, общей жесткости. Авторами формулируется вывод, что в долгосрочной перспективе основным вектором водохозяйственного освоения является разработка месторождений подземных вод западной части Республики Мордовии.

Ключевые слова: геоэкологический анализ, геоэкологический прогноз, подземные воды, прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод, гидрогеодинамические и гидрогеохимические процессы, гидрогеохимические компоненты, минерализация, водохозяйственное освоение

**GEOECOLOGICAL ANALYSIS AND FORECAST OF ECONOMIC
DEVELOPMENT OF UNDERGROUND WATERS****¹Yamashkin A.A., ¹Yamashkin S.A., ²Zibrov G.V., ²Zakusilov V.P.,
¹Zarubin O.A., ¹Muchkaeva N.S.**¹National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, e-mail: yamashkin56@mail.ru;²Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovskiy and Yu.A. Gagarin
Air Force Academy of the Ministry of Defence of the Russian Federation, Voronezh, e-mail: vaiu@mil.ru

The article is devoted to the issues of geoecological analysis and forecast of economic development of groundwater within the borders of the Republic of Mordovia. The authors give an analysis of the hydrogeodynamic and hydrogeochemical features of the main exploited aquifer carboniferous-permian carbonate horizon; they depend on the tectonic features of the territory, the lithological composition of the water-bearing rocks, as well as trends in water development. The task of predicting the geoecological situation was realized using dynamic data series for water wells in the Saransk city water intake, which include a 30-year observation cycle. Forecasting is based on the combined use of hard and soft analysis methods, the choice of which was determined by the features of the project tasks to be solved and the characteristics of the development of natural, social and economic processes. The main component of the convolutional network for predicting hydrogeochemical indicators of groundwater quality is a temporary convolutional module, and the key layer for teaching deeper models is the pooling layer. To train the model for forecasting hydrogeochemical indicators, an algorithm of stochastic gradient descent is used. Experiments show that a good result for solving the problem of forecasting time series is provided by the ResNet architecture, a deep architecture that includes convolutional layers and pooling blocks, and the same residual connections between successive layers. An increase in the range of indicators of the components of the chemical composition of the waters of the main aquifer (chlorides, sulfates, sodium, dry residue, total hardness) is predicted until 2030. The authors conclude that the development of underground water deposits in the western part of the Republic of Mordovia is the main vector of water development in the long term.

Keywords: geoecological analysis, geoecological forecast, groundwater, predicted groundwater exploitation resources, hydrogeodynamic and hydrogeochemical processes, hydrogeochemical components, mineralization, water management

Важнейшее направление развития прикладной (оптимизационной) геоэкологии – «синтез знаний (направлений исследования) о стратегии и тактике максимально возможного сохранения эволюционных экопараметров геоэкологии и зонально-региональных экосфер, предотвращения кризисных, критических и катастрофических нарушений экопараметров. В задачи прикладной геоэкологии также входят разработка и внедрение различных вариантов моделей антропогенезированных сред с оптимальными экопараметрами» [1, с. 168]. Особую значимость в данном контексте имеет исследование проблем водоснабжения городов. При этом, наряду с данными, получаемыми путем инструментальных измерений (наблюдений) параметров качества подземных вод, моделирования гидрогеодинамических и гидрогеохимических процессов, большое значение приобретает специфическая информация – экспертная, основанная на опыте и интуиции специалистов-экспертов [2–4].

Прогнозирование гидрогеодинамических и гидрогеохимических процессов в геоэкологии сопряжено с решением задач диагностики генетической связи подземных вод с природными факторами, установления закономерностей водохозяйственного освоения месторождений подземных вод, оценки антропогенных воздействий и их последствий.

Цель выполненных исследований – разработка геоэкологического подхода в оценке проблем хозяйственного освоения ресурсов подземных вод на основе использования многомерных математико-статистических методов и нейронных сетей, оптимизирующих процедуры подтверждения выводов, полученных в процессе геолого-гидрогеологических изысканий и предварительной оценки процессов формирования химического состава подземных вод.

Материалы и методы исследования

Геоэкологические прогнозы должны базироваться на анализе предыстории изменения гидрогеологических характеристик подземных вод и заключаются в применении определенных предикторов (операторов) прогноза к сообщениям из прошлого, то есть

$$X_i(t) = B_i(x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n), t_1, t_2, \dots, t_n), i = \overline{1, n},$$

где $X(t)$ – прогнозируемое значение гидрогеохимического показателя на перспективу; B_i – предикторы прогноза; $x(t_1), \dots, x(t_n)$ –

значения исследуемых показателей, измеренные в период предыстории.

Вследствие нестационарности большинства геоэкологических процессов фактор старения информации из предыстории очень важен, поэтому ценность исходных данных в отдельных точках ретроспективы должна быть различной. Следовательно, напрашивается целесообразность введения системы весовых коэффициентов для каждого измерения $x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n)$. Такой прогноз, на наш взгляд, с учетом веса наблюдения наиболее обоснован, поскольку он позволяет учесть основные тенденции изменения гидрогеохимических параметров.

С целью определения трендов гидрогеохимических показателей качества подземных вод был реализован метод всех возможных регрессий или кривых роста, применение которого пригодно для продолжающихся процессов, являющихся по своему характеру динамически неустойчивыми. Такое использование трендовых моделей достаточно успешно на современной стадии прогнозирования, когда необходимо определить прогнозные тенденции при сохранении закономерностей, сложившихся в прошедшем периоде.

Таким образом, требуется найти разложение

$$y(t) = f(t) + e(t),$$

где $y(t)$ – временной ряд гидрогеохимического показателя; $f(t)$ – тренд; $e(t)$ – остаточная компонента.

Решение задачи трендового прогнозирования разбивается на следующие этапы:

- анализ временного ряда, заключающийся в проверке гипотезы о существовании тренда;

- если тренд существует, экстраполяция его осуществляется одним из соответствующих методов в точках t_N , $N = \overline{1, K}$, где K – период прогноза;

- анализ остаточной компоненты, выявляющей правильность выбора функции времени.

В случае присутствия автокорреляции в остатках прогноз уточняется – прогнозные значения тренда складываются с прогнозом остаточной компоненты. В качестве методов экстраполяции трендов используются метод полиномов Чебышева, метод гармонических весов, метод Брауна, метод Бокса – Дженкинса. При прогнозировании остаточной компоненты применяется метод автокорреляционной функции. Метод

проверки гипотезы о существовании тренда реализован методом Фостера – Стьюарта – это наиболее эффективный и надежный метод, во многих случаях более практичный, так как позволяет обнаружить тренд в значении уровней, что немаловажно для диагностического анализа.

С целью автоматизированного учета сложных нелинейных зависимостей в структуре временных рядов актуально применение нейросетевых моделей: сетей прямого распространения, сверточных рекуррентных моделей [5]. Эти три типа архитектур выбраны, поскольку они широко используются для глубокого обучения моделей при прогнозировании временных рядов. Перед обучением нейронной сети массивы со значениями гидрогеохимических показателей были нормализованы, с целью повышения устойчивости процесса обучения. При этом использована такая трансформация, при которой математическое ожидание признаков сводится к нулю, а дисперсия ограничивается единицей:

$$x_{norm}(t) = \frac{x(t) - m}{\sigma},$$

где $x_{norm}(t)$ – нормализованный динамический ряд гидрогеохимических компонент подземных вод; $x(t)$ – динамический ряд; m – математическое ожидание процесса; σ – среднеквадратическое отклонение процесса.

Для обучения модели прогнозирования гидрогеохимических показателей использован алгоритм стохастического градиентного спуска. На вход модели подается набор векторов гидрогеохимических показателей, длина которых равна числу временных интервалов. Эксперименты показывают, что хороший результат для решения задачи прогнозирования временных рядов дает архитектура ResNet [6]. Основной его компонентой является кратчайшая остаточная связь между последовательными сверточными слоями.

Работа выполнялась на базе ГИС «Мордовия» Мордовского государственного университета, включающей более 100 слоев электронных карт и баз данных, отражающих структуру геосистем ландшафтной оболочки и зоны свободного водообмена Республики Мордовия [7]. Прогнозирование геоэкологической ситуации проводилось с использованием динамических рядов данных по 39 водозаборным скважинам Саранского городского водозабора с 30-летним циклом наблюдений. В качестве исходной информации были использованы

статистические данные об изменении содержания в воде Na, SO₄, Cl, а также общей жесткости, сухого остатка. На этапе ввода и предварительной обработки статистических данных были реализованы методы проверки и устранения неоднородности и мультиколлинеарности.

Результаты исследования и их обсуждение

Геоэкологический анализ и прогноз хозяйственного освоения подземных вод для решения эколого-социально-экономических проблем, предупреждения и минимизации последствий развития природно-техногенных чрезвычайных ситуаций решается посредством разработки системы электронных карт зоны свободного водообмена, сквозной цифровизации процессов обработки и анализа больших пространственных данных о взаимодействии природных, социальных и производственных систем.

Геолого-гидрогеологическая характеристика объекта исследования. В гидрогеологическом отношении изучаемая территория расположена в юго-западной части Волго-Сурского артезианского бассейна. Естественная гидрогеологическая обстановка определяется прежде всего ее тектоническими особенностями, литологическим составом водовмещающих пород. В гидрогеологическом разрезе выделяются две водоносные толщи. Первая приурочена к мезозойским и кайнозойским отложениям, а вторая – к карбонатным породам каменноугольного и пермского возраста, формирующим основной эксплуатируемый водоносный каменноугольно-пермский карбонатный горизонт на территории Республики Мордовия. На полигоне исследований – в центральной части Мордовии – гидрогеологические условия определяются каменноугольными породами, содержащими порово-трещинно-пластовые воды, которые имеют обобщенное наименование – водоносная средневерхнекаменноугольная карбонатная серия (горизонт, комплекс).

Область питания водоносного карбонатного комплекса расположена на мокша-алатырском междуречье, в зоне Алатырского вала. Кровля карбонатных пород располагается на абсолютных отметках 100–190 м и выходит на дневную поверхность или перекрывается водопроницаемыми среднеюрскими и четвертичными отложениями, что создает условия для интенсивного питания инфильтрационными атмосферными и поверхностными водами.

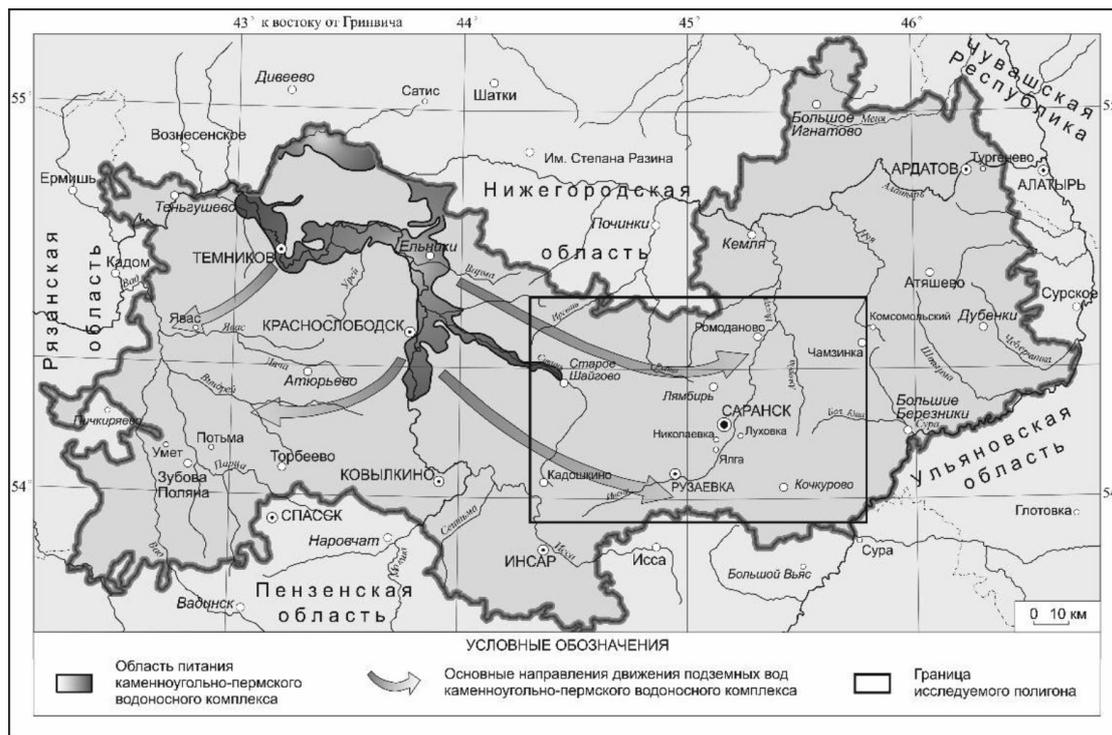


Рис. 1. Основная область питания каменноугольно-пермского водоносного комплекса и географическое положение полигона исследований

Водопроницаемость хорошо промытых и на отдельных участках закарстованных пород составляет 2000–4000 м²/сут. Подземный поток имеет радиальный характер – юг, юго-восток, восток к реке Инсар и далее – к долине Суры (рис. 1).

В междуречье Мокши и Рудни средневерхнекаменноугольный карбонатный комплекс перекрывается юрскими и меловыми песчано-глинистыми породами мощностью 50–75 м. Активная мощность водоносного горизонта уменьшается до 125–100 м. Величина водопроницаемости снижается до 1000–2000 м²/сут [8, 9].

На полигоне исследования для верхнего структурного яруса характерно общее погружение на восток, юго-восток в область Ульяновско-Саратовского прогиба. Уступ к прогибу, осложненный тектоническими разломами, имеет амплитуду погружения палеозойской поверхности до 90–100 м. По особенностям геологическому строению в зоне Инсарской флексуры выделяются три участка: Западный, Инсарский и Восточный. Западный участок, занимающий водоразделы рек Рудни и Инсара, представляет собой моноклинал, сложенную меловыми и юрскими терригенными песчано-глинистыми поро-

дами. Водопроницаемость карбонатных пород 1000–1500 м²/сут. Инсарский участок отличается наибольшей неоднородностью водопроницаемости – от 500 до 1000 м²/сут. К востоку от долины р. Инсар на междуречье Инсара и Суры карбонатная толща погружается на значительную глубину и перекрывается мощным (до 250 м) чехлом юрских и меловых преимущественно глинистых отложений (рис. 2). Карбонатные отложения здесь относительно монолитны, отличаются слабой трещиноватостью. Движение вод по ним замедленное, питание практически отсутствует. Величина водопроницаемости снижается до 500 м²/сут и менее [9].

По материалам С.К. Ларионовой и др. [10], положение пьезометрического уровня напорных вод до начала водохозяйственного освоения Саранского месторождения в районе Саранско-Рузаевского узла находилось на абсолютных отметках 130 м.

Динамика населения. Основным водопотребителем в центральной части Мордовии является г. Саранск, который концентрирует 37,5% всего населения республики. В I поясе расселения расположены г. Рузаевка, пгт. Луховка, Николаевка, Ялга, с. Зыково, Большая Елховка и пос. Ромодано-

во; плотность сельского населения свыше 15 чел./км². Если в целом по республике идет постепенное снижение численности населения, то в г.о. Саранск в последние 10 лет наблюдается небольшой рост. По состоянию на 01.01.2019 г. в Республике Мордовия проживало 795,5 тыс. чел., в г.о. Саранск – 344,4 тыс. чел., в том числе в г. Саранске – 318,6 тыс. чел. [11]. Территориальная структура хозяйства формируется под воздействием географического положения, транспортной инфраструктуры.

Ресурсы подземных вод и геозкологические последствия их освоения. Активный водоотбор на Саранском месторождении подземных вод начался с середины XX в., в первую очередь для водоснабжения г. Саранска. Для централизованного водоснабжения г.о. Саранск, кроме Саранского городского водозабора, вводятся Пензятский (1966), Саранского резинотехнического комбината (СРК) (1966), Руднинский (1979), Новотроицкий (1998), которые в настоящее время находятся в ведении Муниципального предприятия г. о. Саранск «Саранское водопроводно-канализационное хозяйство». Кроме этого, ряд промышленных предприятий и организаций имеют собственные водозаборы, бессистемно размещенные по территории города [12].

С развитием системы централизованных водозаборов начала формироваться депрессионная воронка с центром в г. Саранске. В 1960-х гг. водоотбор превысил 100 тыс. м³/сут, достигнув максимума (130 тыс. м³/сут) в 1973 г., при утвержден-

ных запасах 112 тыс. м³/сут. Общее снижение уровня подземных вод за годы эксплуатации Саранско-Рузаевского промышленного узла по центру депрессионной воронки составило 64,36 м. К концу XX в. воронка приобрела вид эллипсоида, вытянутого длинной осью в зоне Инсарской флексуры на 110 км (рис. 3, а).

Снижение промышленного водопотребления на рубеже XX–XXI вв. несколько стабилизировало гидрогеодинамическую и гидрогеохимическую обстановку. В последующие годы наблюдается подъем уровня подземных вод. Общая площадь Саранско-Рузаевской депрессии, оконтуренная пьезоизогипсой 80 м, в 2018 г. составляла 1564,4 км² (рис. 3, б).

Ретроспективный анализ результатов хозяйственного освоения водных ресурсов в зоне геотехнических систем Саранско-Рузаевского промышленного узла позволил выделить факты, которые важно учитывать при составлении прогноза развития геозкологических ситуаций и разработке мероприятий по минимизации развития деструктивных процессов:

– современные утвержденные запасы подземных вод водоносного горизонта для г. Саранска составляют 295,363 тыс. м³/сут и для г. Рузаевки – 49,082 тыс. м³/сут [12];

– с 1960 по 2018 г. на участках интенсивной эксплуатации водоносного комплекса мощность зоны пресных вод сократилась на 10–40% за счет подтягивания по нижней границе более минерализованных подземных вод [12];



А. Абсолютная отметка кровли палеозойских пород



Б. Линеаменты – индикаторы тектонических разломов

Рис. 2. ГИС «Мордовия»: геолого-тектоническое строение зоны Инсарской флексуры

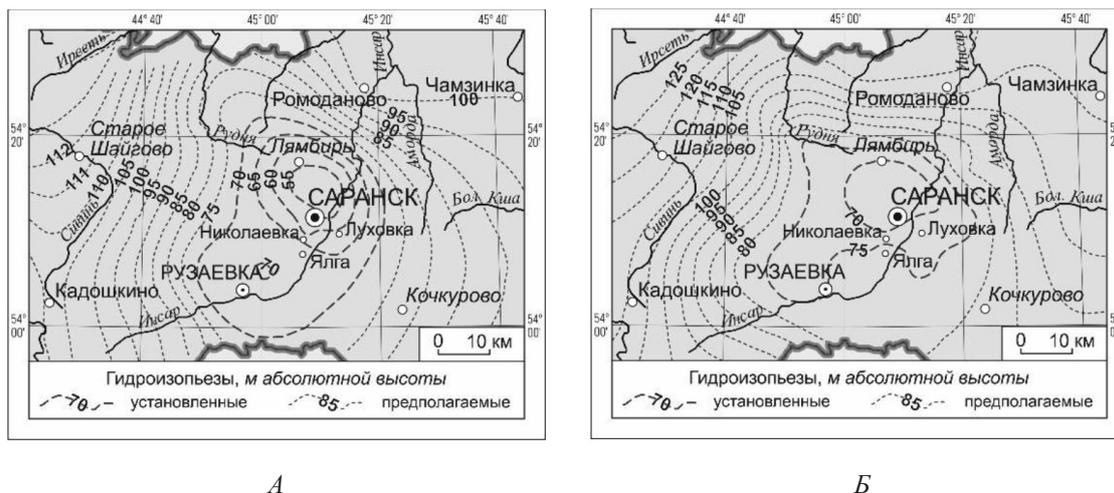


Рис. 3. Динамика пьезометрической поверхности водоносного средневерхнекаменноугольного карбонатного горизонта: А – 2010 г.; Б – 2018 г. [7, 12]

– на основных водозаборных сооружениях Саранско-Рузаевского промышленного узла устойчивое превышение по минерализации до 1,4–2 г/дм³ отмечается на Саранском городском водозаборе и водозаборе СРК; за период наблюдений с 1993 по 2007 г. сульфатов в отдельных скважинах Пензятского и Саранского городского водозаборов концентрация сульфат-ионов достигла 400 мг/дм³; общая жесткость подземных вод превышала ПДК на участках с нарушением режима эксплуатации; максимальные превышения до 3,7–7,1 мг-экв/дм³ от ПДК отмечались на водозаборе СРК, до 2,1–3,3 мг-экв/дм³ от ПДК – на Саранском городском участке [13];

– сопоставительный анализ данных о химическом составе подземных вод на 2007 г. с результатами опробования в 2017–2018 гг. показал, что, несмотря на начавшийся с 2008 г. подъем уровня подземных вод, наблюдается увеличение минерализации с 0,6–1,2 г/дм³ в 2007 г. до 0,8–1,4 – в 2018 г.; общей жесткости – с 5,8–14,0 до 8,0–20,6 мг/экв-дм³, содержания сульфатов – с 110–310 до 261–375, мг/дм³ соответственно [12–14].

Приведенный обзор данных показывает, что в основном эксплуатируемом водоносном горизонте в условиях стабилизации гидрогеодинамической обстановки сохраняется тенденция к ухудшению качества вод. Основные загрязняющие вещества – сухой остаток, сульфаты, хлориды, натрий, а также общая жесткость.

Общий план факторов развития геоэкологической ситуации для водозаборов

Саранско-Рузаевского промышленного узла представлен на рис. 4. Минерализация и гидрохимический состав вод изменяется с запада на восток в следующей последовательности: гидрокарбонатный, сульфатно-гидрокарбонатный, сульфатно-хлоридный, смешанный. Подземные воды приобретают повышенное содержание фтора.

Прогнозирование динамики гидрогеохимических показателей проведено на базе комбинированного применения жестких и мягких методов анализа, описанных выше. Основным компонентом сети для прогнозирования временного ряда является сверточный модуль, для обучения модели использован алгоритм стохастического градиентного спуска.

Результаты моделирования показали метакронный характер развития геоэкологических ситуаций. Подъем уровня подземных вод может быть связан как с природными факторами, так и с неравномерно распределенной эксплуатационной нагрузкой на водозаборные скважины, которая в процессе эксплуатации меняется и может привести к росту уровня на одном участке и понижению на другом. При общей тенденции стабилизации гидрогеохимических процессов в зонах активного водоотбора вследствие осушения водовмещающей толщи наследуются устойчивые процессы загрязнения подземных вод за счет подтока из нижерасположенного водоносного каширско-подольского карбонатного горизонта, который содержит слабо и умеренно солончатые подземные воды, вероятно, из восточной Мордовии (рис. 5).

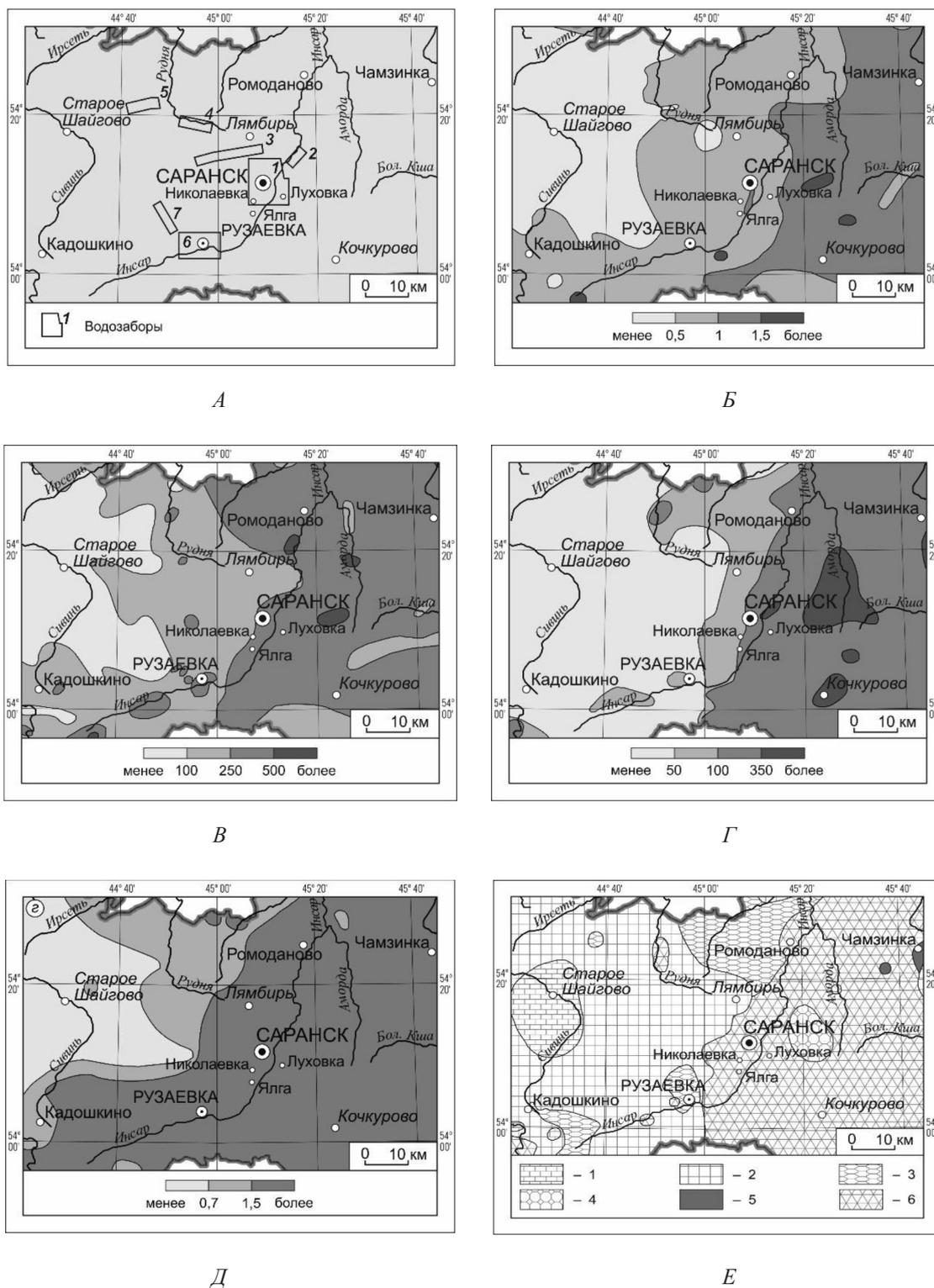


Рис. 4. ГИС «Мордовия»: гидрогеохимические факторы формирования геоэкологической ситуации на водозаборах Саранско-Рузаевского промышленного узла: А. Водозаборы: 1 – Саранский городской, 2 – Резинотехнического комбината, 3 – Пензятский, 4 – Руднинский, 5 – Новотроицкий, 6 – Рузаевский, 7 – Пишленский; Б. Величина сухого остатка, г/дм³; В. Содержание сульфатов, мг/дм³; Г. Содержание хлоридов, мг/дм³; Д. Содержание фторидов, мг/дм³; Е. Тип вод: 1 – гидрокарбонатный; 2 – сульфатно-гидрокарбонатный; 3 – гидрокарбонатно-сульфатный; 4 – сульфатно-хлоридный; 5 – хлоридно-сульфатный; 6 – смешанный

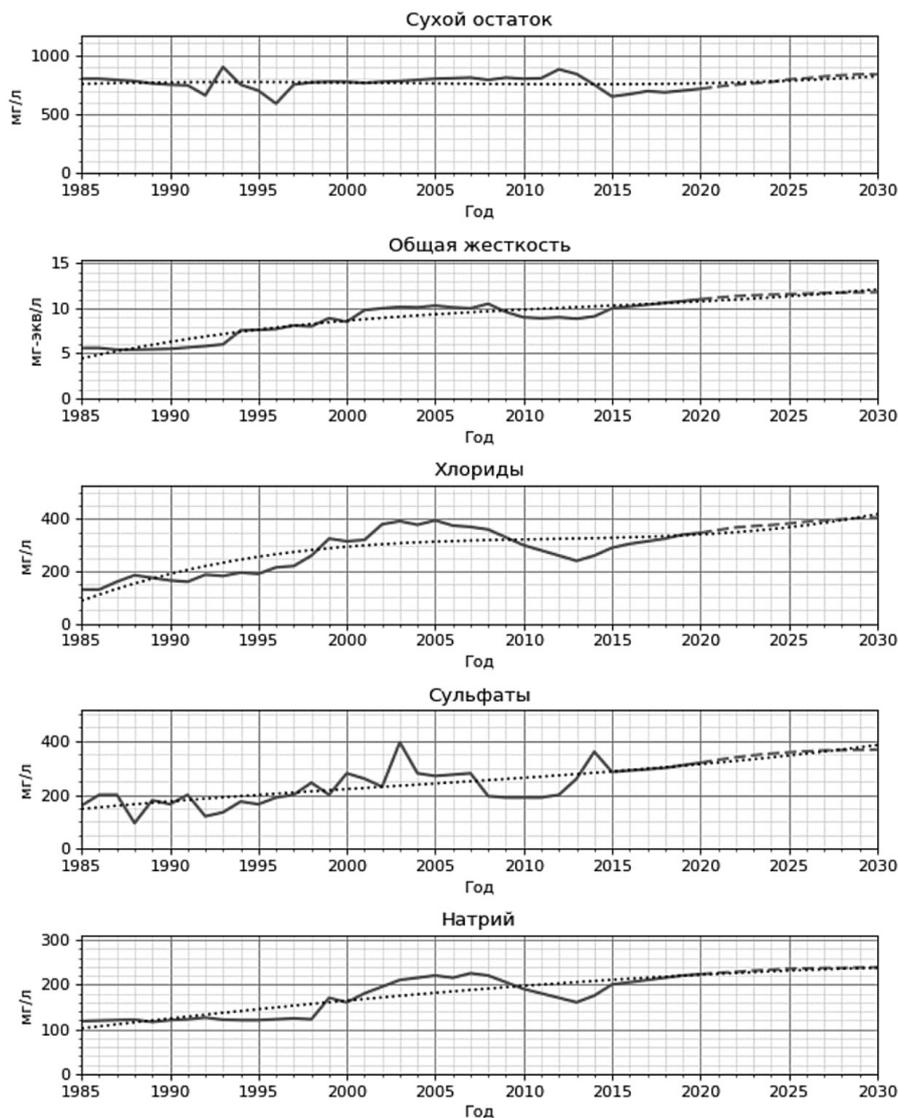


Рис. 5. ГИС «Мордовия»: динамика гидрогеохимических показателей. Сплошной линией обозначены исторические данные, пунктиром – прогнозные значения, точками – интерполяция числового ряда многочленом третьей степени

Таким образом, пространственно-временная неоднородность развития геоэкологической ситуации в зоне Саранско-Рузевского промышленного узла определяется природными и техногенными факторами. К первой группе относятся положение территории в области Инсарской флексуры, определяющей контрастную границу зон свободного и замедленного водообмена в средневерхнекаменноугольном карбонатном комплексе; ко второй – концентрированное и бессистемное размещение эксплуатационных скважин и многолетняя интенсивная их эксплуатация, обусловившие сработку статических запасов и сни-

жение уровней подземных вод в скважинах, развитие неблагоприятных геоэкологических процессов.

Заключение

Прогнозирование гидрогеохимических процессов не должно сводиться к механическому перенесению условий отчетного периода на перспективу и должно быть основано на комплексном применении жестких и мягких вычислений, в том числе глубоких нейронных сетей, позволяющих автоматизировать процесс прогнозирования многопараметрических временных рядов и существенно повысить его эффективность.

Геоэкологические особенности питьевого и промышленного водоснабжения на территории Мордовии связаны с освоением водоносного средневерхнекаменноугольного карбонатного горизонта. Развитие системы централизованных водозаборов вызвало развитие в центральной Мордовии обширной депрессионной воронки. Снижение промышленного водопотребления на рубеже XX–XXI вв. стабилизировало гидрогеодинамическую и гидрогеохимическую обстановку. Результаты моделирования показывают метахронный характер изменения пьезометрической поверхности и развития процессов загрязнения подземных вод. В зонах активного водоотбора прогнозируется наследование процессов загрязнения вод за счет подтока слабо и умеренно соленых подземных вод. В долгосрочном планировании основным вектором является освоение месторождений подземных вод западной Мордовии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-70055.

Список литературы / References

1. Бочаров В.Л. Геоэкология как наука: структурирование и тезаурус, современное состояние и перспективы развития // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2004. № 2. С. 166–171.
2. Bocharov V.L. Geocology as a science: structuring and thesaurus, current state and development prospects // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya. 2004. № 2. P. 166–171 (in Russian).
3. Sanchez E.R.S., Hoyos S.E.G., Esteller M.V., Morales M.M., Astudillo A.O. Hydrogeo-chemistry and water-rock interactions in the urban area of Puebla Valley aquifer (Mexico). Journal of Geochemical Exploration. 2017. № 181. P. 219–235. DOI: 10.1016/J.GEXPLO.2017.07.016.
4. El Baghdadi M., Zantar I., Jouider A., Nadem S., Medah R. Evaluation of hydro-geochemical quality parameters of groundwater under urban activities – Case of BeniMellal city (Morocco). Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration. 2019. № 4 (1). P. 681–682. DOI: 10.1007/s41207-018-0087-4.
5. De Caro M., Perico R., Crosta G.B., Frattini P., Volpi G. A regional-scale conceptual and numerical groundwater flow model in fluvio-glacial sediments for the Milan Metropolitan area (Northern Italy). Journal of Hydrology: Regional Studies. 2020. Vol. 29. [Electronic resource]. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581819302058> (date of access: 30.07.2020).
6. Ямашкин С.А., Ямашкин А.А., Занозин В.В. Формирование репозитория глубоких нейронных сетей в системе цифровой инфраструктуры пространственных данных // Потенциал интеллектуально одарённой молодежи – развитию науки и образования: материалы IX Междунар. науч. форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников (г. Астрахань, 28–29 апреля 2020 г.). Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 370–375.
7. Yamashkin S.A., Yamashkin A.A., Zanozin V.V. Formation of a repository of deep neural networks in the system of digital infrastructure of spatial data / Potencialintellektual'no odaryonnojmolodezhi – razvitiyunaukiiobrazovaniya: materialy IX Mezhdunar. nauch. forumamolodyhuchenyh, innovatorov, studentovishkol'nikov (g. Astrahan', 28–29 aprelya 2020 g.). Astrahan': Astrahanskijgosudarstvennyjarkhitekturno-stroitel'noyjuniversitet, 2020. P. 370–375 (in Russian).
8. Yamashkin S., Radovanovic M., Yamashkin A., Vukovic D. Using Ensemble Systems to Study Natural Processes. Journal of Hydroinformatics. 2018. Vol. 20. № 4. P. 753–765. DOI: 10.2166/hydro.2018.076.
9. Географический атлас Республики Мордовия / Редкол.: А.А. Ямашкин (пред. кол.), С.М. Вдовин, Н.П. Макаркин, В.В. Ревин, В.В. Руженков, П.В. Сенин, Н.Е. Фомин, В.Т. Шумкин, В.А. Юрченков. Саранск: Изд-во Мордов. унта, 2012. 204 с.
10. Geographic Atlas of the Republic of Mordovia / Redkol.: A.A. Yamashkin (pred. kol.), S.M. Vdovin, N.P. Makarkin, V.V. Revin, V.V. Ruzhenkov, P.V. Senin, N.E. Fomin, V.T. Shumkin, V.A. Yurchenkov. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2012. 204 p. (in Russian).
11. О состоянии и об охране окружающей среды в Республике Мордовия в 2018 году: гос. докл. Саранск, 2018. 120 с.
12. About the state and environmental protection in the Republic of Mordovia in 2018: gos. dokl. Saransk, 2018. 120 p. (in Russian).
13. Водные ресурсы Республики Мордовия и геоэкологические проблемы их освоения / Ред. группа: С.И. Горенков, Г.В. Гришаков, В.А. Гуляев, Б.И. Кочуров, Ю.И. Рыбин, А.А. Свиридов, Л.М. Талалаевский, А.М. Шутов, А.А. Ямашкин (отв. ред.). Саранск, 1999. 188 с.
14. Water resources of Republic Mordovia and geocological problems of their development / Red. grupa: S.I. Gorenkov, G.V. Grishakov, V.A. Gulyaev, B.I. Kochurov, Yu.I. Rybin, A.A. Sviridov, L.M. Talalaevsij, A.M. Shutov, A.A. Yamashkin (otv. red.). Saransk, 1999. 188 p.
15. Ларионова С.К., Плотников В.С., Порунов С.К. Отчет о гидрогеологических работах по переоценке эксплуатационных запасов подземных вод Саранского месторождения за 1974–1977 гг. Мордовская АССР. Саранск, 1977. 272 с.
16. Larionova S.K., Plotnikov V.S., Porunov S.K. Report on hydrogeological work on the revaluation of operational groundwater reserves of the Saransk deposit for 1974–1977. Mordovian Autonomous Soviet Socialist Republic. Saransk, 1977. 272 p. (in Russian).
17. Мордовия: Стат. ежегодник Мордовиястат. Саранск, 2019. 438 с.
18. Mordovia: Stat. Yearbook Mordoviyastat. Saransk, 2019. 438 p. (in Russian).
19. Информационный бюллетень о состоянии недр территории Приволжского федерального округа за 2018 год. Вып. 18: в 2 кн. Кн. 1. Подземные воды / Приволжский РЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология». Н. Новгород, 2019. 292 с.
20. Information bulletin on the state of the subsoil of the territory of the Volga Federal District for 2018. Iss. 18: in 2 books. Book 1. Groundwater / Privolzhskij RC GMSN FGBU «Gidrospecegeologiya». N. Novgorod, 2019. 292 p. (in Russian).
21. Отчет по гидрогеологическому обоснованию системы водоснабжения г. Саранска, выполненному Приволжским региональным центром Государственного мониторинга состояния недр в 2005–2007 гг. / ФГУП «Волгагеология»; Приволжский РЦ ГМСН. Н. Новгород, 2007. 326 с.
22. Report on the hydrogeological substantiation of the water supply system in Saransk, carried out by the Volga Regional Center for State Monitoring of the Subsoil Condition in 2005–2007 / FGUGP «Volgeologiya»; Privolzhskij RC GSMN. N. Novgorod, 2007. 326 p. (in Russian).
23. Отчет о результатах работ по объекту «Разработка математической гидрогеологической модели Саранского промрайона с целью ее использования для управления ресурсной базой питьевых и технических подземных вод и оценка их ресурсного потенциала»: в 2 кн. Кн. 1 / АО «Росгео». М.: ФГБУ «Российский федеральный геологический фонд», 2019. 292 с.
24. Report on the results of work on the object «Development of a mathematical hydrogeological model of the Saransk industrial area with the aim of using it to manage the resource base of drinking and technical groundwater and assessment their resource potential»: in 2 books. Book 1 / AO «Rosgeo». M.: FGBU «Rossijskij federal'nyj geologicheskij fond», 2019. 292 p. (in Russian).