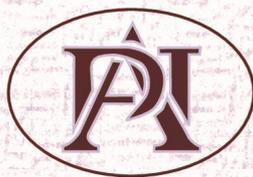


№ 5(109)



ISSN 1991-6639

2022

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИЗВЕСТИЯ
КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО
НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН**

НАЛЬЧИК

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр
«Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук» (КБНЦ РАН)

Научный журнал

**ИЗВЕСТИЯ
КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО
НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН**

№ 5 (109) 2022

Журнал основан в 1998 г. Выходит 6 раз в год

ISSN 1991-6639 (печатная версия)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ №77-14936 от 20 марта 2003 г.
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

360010, Российская Федерация, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2
Тел., факс: 8(8662)72-04-87, e-mail: ired07@mail.ru

© КБНЦ РАН, 2022

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Federal State Budgetary Scientific Establishment "Federal scientific center
"Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (KBSC RAS)

Science journal

**NEWS
OF THE KABARDINO-BALKARIAN
SCIENTIFIC CENTER OF RAS**

№ 5 (109) 2022

The journal was founded in 1998, 6 issues per year

ISSN 1991-6639 (print version)

The certificate of registration of mass media of PI No. 77-14936 dated March 20, 2003
was granted by Federal Service for Supervision of Communications, Information Technologies
and Mass Media

ADDRESS OF THE EDITORIAL OFFICE:

360010, Russian Federation, Kabardino-Balkarian, Nalchik, 2 Balkarov street
Tel., fax: 8(8662) 72-04-87, e-mail: ired07@mail.ru

© KBSC RAS, 2022

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:

Иванов Петр Мацович, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Кабардино-Балкарский научный центр РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Заместитель главного редактора:

Улаков Махти Зейтунович, доктор филологических наук, профессор, Институт гуманитарных исследований – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Ответственный секретарь:

Энеева Лиана Магометовна, кандидат физико-математических наук, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Абазов Алексей Хасанович, доктор исторических наук, Институт гуманитарных исследований – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Адуков Рухман Хасанович, доктор экономических наук, профессор, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

Алтухов Анатолий Иванович, академик РАН, доктор экономических наук, профессор, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

Амирханов Хизри Амирханович, академик РАН, доктор исторических наук, профессор, Институт истории, археологии и этнографии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, Махачкала, Республика Дагестан, Россия

Бабенко Людмила Клементьевна, доктор технических наук, профессор, Таганрогский технологический институт ЮФУ, Таганрог, Россия

Барыкин Сергей Евгеньевич, доктор экономических наук, доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Высшая школа сервиса и торговли, Санкт-Петербург, Россия

Бижоев Борис Чамалович, доктор филологических наук, Институт гуманитарных исследований – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Гужежев Владимир Мицахович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Институт сельского хозяйства – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Дзамихов Касболат Фицевич, доктор исторических наук, профессор, Институт гуманитарных исследований – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Дзюба Владимир Алексеевич, доктор биологических наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт риса, Краснодар, Россия

Дохолян Сергей Владимирович, доктор экономических наук, профессор, Институт социально-экономических исследований – филиал Дагестанского научного центра РАН, Махачкала, Республика Дагестан, Россия

Завалин Алексей Анатольевич, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, Москва, Россия

Закшевский Василий Георгиевич, академик РАН, доктор экономических наук, профессор, Научно-исследовательский институт экономики и организации агропромышленного комплекса Центрально-Черноземного района РФ, Воронеж, Россия

Иванов Анатолий Беталович, доктор биологических наук, профессор, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Кибиров Алихан Яковлевич, доктор экономических наук, профессор, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

Клейнер Георгий Борисович, член-корреспондент РАН, доктор экономических наук, профессор, Центральный экономико-математический институт РАН, Москва, Россия

Комков Николай Иванович, доктор экономических наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, Санкт-Петербург, Россия

Котляков Владимир Михайлович, академик РАН, доктор географических наук, профессор, Институт географии РАН, Москва, Россия

Кузьминов Валерий Васильевич, доктор физико-математических наук, Институт ядерных исследований – филиал Баксанской нейтринной обсерватории, Нейтрино, Приэльбрусье, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Кусраев Анатолий Георгиевич, доктор физико-математических наук, профессор, Владикавказский научный центр РАН, Владикавказ, РСО–Алания, Россия

Мазлоев Виталий Зелимханович, доктор экономических наук, профессор, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

Макаревич Олег Борисович, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

Малкандуев Хамид Алиевич, доктор сельскохозяйственных наук, Институт сельского хозяйства – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Мамбегова Фатимат Абдуллаховна, доктор экономических наук, доцент, Институт информатики и проблем регионального управления – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Маслиенко Любовь Васильевна, доктор биологических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В. С. Пустовойта, Краснодар, Россия

Матишов Геннадий Григорьевич, академик РАН, доктор географических наук, профессор, Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

Махошева Салима Александровна, доктор экономических наук, Институт информатики и проблем регионального управления – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Нагоев Залимхан Вячеславович, кандидат технических наук, Кабардино-Балкарский научный центр РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Нечаев Василий Иванович, доктор экономических наук, профессор, Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия

Попков Юрий Соломонович, академик РАН, доктор технических наук, профессор, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление», Москва, Россия

Пеху Арсен Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Пшихопов Вячеслав Хасанович, доктор технических наук, профессор, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

Рехвиашвили Серго Шотович, доктор физико-математических наук, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал КБНЦ РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Савин Игорь Юрьевич, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Российский университет дружбы народов, департамент рационального природопользования Института экологии, Москва, Россия

Семин Александр Николаевич, академик РАН, доктор экономических наук, профессор, Уральский государственный университет, Институт мировой экономики, Екатеринбург, Россия

Симаков Евгений Алексеевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А. Г. Лорха, Москва, Россия

Скляров Игорь Юрьевич, доктор экономических наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия

Склярова Юлия Михайловна, доктор экономических наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия

Стемпковский Александр Леонидович, академик РАН, доктор технических наук, профессор, Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН, Москва, Россия

Супрунов Анатолий Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Национальный центр зерна им. П. П. Лукьяненко, Краснодар, Россия

Темботова Фатимат Асланбиевна, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, Институт экологии горных территорий им. А. К. Темботова РАН, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

Трамова Азиза Мухамадияевна, доктор экономических наук, доцент, Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, Москва, Россия

Филюшин Михаил Александрович, кандидат биологических наук, Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Москва, Россия

Чочаев Алим Хусеевич, доктор экономических наук, профессор, Федеральное государственное унитарное предприятие «Агронаучсервис», Москва, Россия

Шевхужев Анатолий Фoadович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия

Шогенов Юрий Хасанович, академик РАН, доктор технических наук, Отделение сельскохозяйственных наук РАН, Москва, Россия

Юсупов Рафаэль Мидхатович, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Санкт-Петербургский институт информатики РАН, Санкт-Петербург, Россия

Янбых Рената Геннадьевна, член-корреспондент РАН, доктор экономических наук, доцент, профессор РАН, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия

EDITORIAL BOARD**Editor in chief:**

Ivanov Petr Matsovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Deputy editor in chief:

Ulakov Makhti Zeytunovich, Doctor of Philology, Professor, Institute for Humanitarian Research – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Responsible secretary:

Eneeva Liana Magometovna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Abazov Aleksey Khasanovich, Doctor of Historical Sciences, Institute for Humanitarian Research – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Adukov Rukhman Khasainovich, Doctor of Economics, Professor, Federal Research Center for Agricultural Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Institute of Economics of Agriculture, Moscow, Russia

Altukhov Anatoly Ivanovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics, Professor, Federal Research Center for Agricultural Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Institute of Economics of Agriculture, Moscow, Russia

Amirkhanov Khizri Amirkhanovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Historical Sciences, Professor, Institute of History, Institute of History, Archeology and Ethnography of the Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences Makhachkala, Republic of Dagestan, Russia

Babenko Lyudmila Klementyevna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Taganrog Institute of Technology, Southern Federal University, Taganrog, Russia

Barykin Sergey Evgenievich, Doctor of Economics, Associate Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Higher School of Service and Trade, St. Petersburg, Russia

Bizhoev Boris Chamalovich, Doctor of Philology, Institute for Humanitarian Research – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Gukezhev Vladimir Mitsakhovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Institute of Agriculture – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Dzamikhov Kasbolat Fitsevich, Doctor of Historical Sciences, Professor, Institute for Humanitarian Studies – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Dzyuba Vladimir Alekseevich, Doctor of Biological Sciences, Professor, All-Russian Research Institute of Rice, Krasnodar, Russia

Dokholyan Sergey Vladimirovich, Doctor of Economics, Professor, Institute for Socio-Economic Research of Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

Zavalin Aleksey Anatolievich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, All-Russian Research Institute of Agrochemistry n.a. D.N. Pryanishnikov, Moscow, Russia

Zakshevsky Vasily Georgievich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics, Professor, Research Institute for Economics and Organization of the Agro-Industrial Complex of the Central Black Earth Region of the Russian Federation, Voronezh, Russia

Ivanov Anatoly Betalovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Kibirov Alikhan Yakovlevich, Doctor of Economics, Professor, Federal Scientific Center for Agricultural Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia

Kleiner Georgy Borisovich, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics, Professor, Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Komkov Nikolai Ivanovich, Doctor of Economics, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Institute of Economic Forecasting of RAS, St. Petersburg, Russia

Kotlyakov Vladimir Mikhailovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Kuzminov Valery Vasilyevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Baksan Neutrino Observatory – branch of Institute for Nuclear Research, Neutrino, Elbrus region, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Kusraev Anatoly Georgievich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Vladikavkaz, North Ossetia – Alania, Russia

Mazloev Vitaly Zelimkhanovich, Doctor of Economics, Professor, Federal Research Center for Agrarian Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia

Makarevich Oleg Borisovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation
Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Malkanduev Khamid Alievich, Doctor of Agricultural Sciences, Institute of Agriculture – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Mambetova Fatimat Abdullakhovna, Doctor of Economics, Associate Professor, Institute of Informatics and Regional Management Problems – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Maslienko Lyubov Vasilievna, Doctor of Biological Sciences, All-Russian Research Institute of Oilseeds named after V.S. Pustovoit, Krasnodar, Russia

Matishov Gennady Grigorievich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geography, Professor, Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia

Makhosheva Salima Alexandrovna, Doctor of Economics, Institute of Informatics and Regional Management Problems – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Nagoev Zalimkhan Vyacheslavovich, Candidate of Technical Sciences, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Nechaev Vasily Ivanovich, Doctor of Economics, Professor, Federal Research Center for Agrarian Economics and Social Development of Rural Territories – All-Russian Research Center Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia

Popkov Yuri Solomonovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Federal Research Center «Informatics and Control», Moscow, Russia

Pskhu Arsen Vladimirovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Pshikhopov Vyacheslav Khasanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Rekhviashvili Sergo Shotovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Institute of Applied Mathematics and Automation – Branch of KBSC RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Savin Igor Yurievich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Peoples Friendship University of Russia, Department of Environmental Management of the Institute of Ecology, Moscow, Russia

Semin Alexander Nikolaevich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics, Professor, Ural State University, Institute of World Economy, Department of Strategic and Production Management, Ekaterinburg, Russia

Simakov Evgeny Alekseevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, All-Russian Research Institute of Potato Economy named after A.G. Lorkh, Moscow, Russia

Sklyarov Igor Yurievich, Doctor of Economics, Professor, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

Sklyarova Yulia Mikhailovna, Doctor of Economics, Professor, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

Stempkovsky Alexander Leonidovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute for Design Problems in Microelectronics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Suprunov Anatoly Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, National Grain Center named after P.P. Lukyanenko, Krasnodar, Russia

Tembotova Fatimat Aslanbievna, Corresponding Member of RAS, Doctor of Biological Sciences, Professor, Institute of Ecology of Mountain Territories named after A.K. Tembotov of RAS, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

Tramova Aziza Mukhamadiyevna, Doctor of Economics, Associate Professor, Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov, Moscow, Russia

Filyushin Mikhail Alexandrovich, Candidate of Biological Sciences, Federal Research Center «Fundamental Foundations of Biotechnology» of RAS, Moscow, Russia

Chochaev Alim Khuseyevich, Doctor of Economics, Professor, Federal State Unitary Enterprise «Agronauchservis», Moscow, Russia

Shevkhuzhev Anatoly Foadovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, North Caucasian Federal Scientific Agrarian Center, Mikhailovsk, Russia

Shogenov Yuri Khasanovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Yusupov Rafael Midkhatovich, Corresponding Member of RAS, Doctor of Technical Sciences, Professor, St. Petersburg Institute of Informatics of RAS, St. Petersburg, Russia

Yanbykh Renata Gennadiyevna, Corresponding member of RAS, Doctor of Economic Sciences, Professor, HSE University, Moscow, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН № 5 (109) 2022

Математика и механика

- Локальные краевые задачи для модельного уравнения третьего порядка гиперболического типа
Ж. А. БАЛКИЗОВ..... 11

Информационные технологии и телекоммуникации

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

- Высокопроизводительные системы фенотипирования сельскохозяйственных культур
М. И. АНЧЁКОВ, К. Ч. БЖИХАТЛОВ, А. М. ЛЕШКЕНОВ..... 19
- Коллаборативная селекционная система на основе консорциума гетерогенных интеллектуальных агентов
М. И. АНЧЁКОВ, З. И. БОГОТОВА, И. А. ПШЕНОКОВА, З. В. НАГОЕВ, Б. Р. ШОМАХОВ..... 25
- Постройка ПИД-регулятора с использованием нейронных сетей
Р. А. ЖИЛОВ..... 38
- Применение метода роя частиц в задачах оптимизации
Е. М. КАЗАКОВА..... 48
- Модели описания и критерии оценки эффективности распределения и планирования задач в роевых робототехнических системах
В. И. ПЕТРЕНКО, Ф. Б. ТЕБУЕВА, А. С. ПАВЛОВ, М. М. ГУРЧИНСКИЙ..... 58
- Формирование динамических причинно-следственных зависимостей при управлении поведением интеллектуального агента на основе формализма мультиагентных нейрокогнитивных архитектур
И. А. ПШЕНОКОВА, О. В. НАГОЕВА, А. З. АПШЕВ, А. З. ЭНЕС..... 73
- К проблеме имитации апперцептивных процессов системами искусственного интеллекта
Т. З. ТОЛГУРОВ, А. Т. БОЗИЕВ, К. Ф. КРАЙ..... 81
- Разработка экспертных систем для повышения эффективности выращивания растений в сельском хозяйстве
М. А. ШЕРЕУЖЕВА, М. А. ШЕРЕУЖЕВ..... 93

Науки о Земле и окружающей среде

- Потенциально токсичные элементы в поверхностных водах бассейна реки Черек Безенгийский
Н. В. РЕУТОВА, Т. В. РЕУТОВА, Ф. Р. ДРЕЕВА, А. М. ХУТЧЕВ..... 105

Агронмия, лесное и водное хозяйство

Общее земледелие и растениеводство

- Влияние режимов орошения и регуляторов роста на продуктивность сортов чины посевной в условиях Западного Прикаспия Дагестана
М. Р. БАТЫРОВА, М. Р. МУСАЕВ, А. А. МАГОМЕДОВА, З. М. МУСАЕВА..... 116

Повышение продуктивности сортов суданской травы на фоне обработки стимулятором роста Райкат Старт <i>Б. Ш. КУДАЕВА, М. Р. МУСАЕВ</i>	124
Влияние способов посева на противоэрозионную эффективность, урожайность и качество зерна колосовых культур на склоновых землях Кабардино-Балкарской Республики <i>Х. Ш. ТАРЧОКОВ, М. М. ЧОЧАЕВ, А. И. САРБАШЕВА, О. Х. МАТАЕВА, А. Х. ШОГЕНОВ</i>	132
Оценка новых перспективных гибридов кукурузы в селекционных питомниках при орошении в степной зоне Кабардино-Балкарии <i>Б. Р. ШОМАХОВ, Ф. Х. БЖИНАЕВ, А. Х. ГЯУРГИЕВ, О. Х. МАТАЕВА</i>	149

Экономика

Преимущества и риски реорганизации научных организаций: опыт Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра РАН <i>А. Л. РОНЖИН</i>	158
---	-----

Исторические науки

Из истории становления и развития финансовых институтов Кабардинского округа на рубеже 50–60-х гг. XIX в. <i>М. Х. БЕРБЕКОВА</i>	170
Документы к истории становления института аманатства в политике России на Кавказе в XVIII в. <i>З. Ж. ГЛАШЕВА</i>	177
Общественные мирские подати сельского населения Нальчикского округа в последней трети XIX – начале XX в.: механизм назначения, порядок взимания и учета <i>Ф. А. КЯРОВА</i>	188

Филология

Традиционная культура адыгов в историко-героическом эпосе (на материале сказания о князе Шолохе и князе Алиджуко) <i>Л. А. ГУТОВА</i>	196
Лексико-семантическое поле усилительных конструкций в тюркских языках, образованных по модели полной редупликации <i>Б. А. МУСУКОВ, Л. М. КАБАРДОКОВА</i>	203
Лексикографическая разработка заимствованной лексики из осетинского языка в «Толковом словаре карачаево-балкарского языка» <i>М. З. УЛАКОВ, Л. Х. МАХИЕВА</i>	209

Юбиляры

<i>К. Ф. ДЗАМИХОВ</i>	216
<i>Ю. С. ПОПКОВ</i>	219

Правила для авторов журнала	221
--	-----

CONTENTS

News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences № 5 (109) 2022

Mathematics and Mechanics

- Local boundary value problems for a model equation of the third order of hyperbolic type
Zh.A. BALKIZOV 11
-

Information Technologies and Telecommunications

System analysis, management and information processing, statistics

- High throughput crop phenotyping systems
M.I. ANCHEKOV, K.Ch. BZHIKHATLOV, A.M. LESHKENOV 19
- Collaborative breeding system based on a consortium of heterogeneous intelligent agents
M.I. ANCHEKOV, Z.I. BOGOTOVA, I.A. PSHENOKOVA, Z.V. NAGOEV, B.R. SHOMAKHOV 25
- Building a PID controller using neural networks
R.A. ZHILOV 38
- Application of particle swarm method in the optimization problems
E.M. KAZAKOVA 48
- Description models and criteria for evaluating the efficiency of task allocation and planning in swarm robotic systems
V.I. PETRENKO, F.B. TEBUEVA, A.S. PAVLOV, M.M. GURCHINSKIY 58
- Formation of dynamic cause-and-effect relationships when controlling the behavior of an intelligent agent based on the multi-agent neurocognitive architectures formalism
I.A. PSHENOKOVA, O.V. NAGOEVA, A.Z. APSHEV, A.Z. ENES 73
- On the problem of imitation of apperception processes by artificial intelligence systems
T.Z. TOLGUROV, A.T. BOZIEV, K.F. KRAI 81
- Development of expert systems to improve the efficiency of growing plants in agriculture
M.A. SHEREUZHEVA, M.A. SHEREUZHEV 93
-

Earth and Environmental Sciences

- Potentially toxic elements in the surface waters of the Cherek Bezengiysky river basin
N.V. REUTOVA, T.V. REUTOVA, F.R. DREEVA, A.M. KHUTUEV 105
-

Agronomy, Forestry and Water management

General agriculture and crop production

- The influence of irrigation regimes and growth regulators on the productivity of varieties of grass peavine (*Lathyrus sativus*) in the conditions of the Western Caspian Region of Dagestan
M.R. BATYROVA, M.R. MUSAEV, A.A. MAGOMEDOVA, Z.M. MUSAEVA 116

Increasing the productivity of varieties of Sudanese grass against the background of treatment with a growth stimulant Raikat Start <i>B.Sh. KUDAEVA, M.R. MUSAEV</i>	124
Influence of sowing methods on anti-erosion efficiency, productivity and grain quality of spiked crops on sloping lands of the Kabardino-Balkarian Republic <i>Kh.Sh. TARCHOKOV, M.M. CHOCHAEV, A.I. SARBASHEVA, O.Kh. MATAEVA, A.Kh. SHOGENOV</i>	132
Evaluation of new promising corn hybrids in breeding nurseries under irrigation in the steppe zone of Kabardino-Balkaria <i>B.R. SHOMAHOV, F.Kh. BZHINAEV, A.Kh. GYAURGIEV, O.Kh. MATAYEVA</i>	149

Economics

Risks and benefits arising from the reorganization of scientific organizations: experience of the St. Petersburg Federal Research Center <i>A.L. RONZHIN</i>	158
---	-----

Historical sciences

From the history of the formation and development of financial institutions of the Kabardin district at the turn of 50-60s of XIX century <i>M.Kh. BERBEKOVA</i>	170
Documents on the history of the formation of the institution of amanatism in russian politics in the Caucasus in the XVIII century <i>Z.Zh. GLASHEVA</i>	177
The public taxes of the rural population of Nalchik district in the last third of the XIX - early XX century: appointment mechanism, accounting and collection procedure <i>F.A. KYAROVA</i>	188

Philological

Traditional culture of the Adyghes (Circassians) in the historical and heroic epic (on the material of the legend about Prince Sholokh and Prince Alidzhuko) <i>L.A. GUTOVA</i>	196
Lexico-semantic field of reinforcement constructions in the Turkic languages formed according to the model of complete reduplication <i>B.A. MUSUKOV, L.M. KABARDOKOVA</i>	203
Lexicographic development of borrowed vocabulary from the Ossetian language in the "Explanatory Dictionary of the Karachay-Balkarian Language" <i>M.Z. ULAKOV, L.Kh. MAKHIEVA</i>	209

Anniversaries

<i>K.F. DZAMIKHOV</i>	216
<i>Yu.S. POPKOV</i>	219

Publishing regulations for the authors	221
---	-----

УДК 517.956.32

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-11-18

Локальные краевые задачи для модельного уравнения третьего порядка гиперболического типа

Ж. А. Балкизов

Институт прикладной математики и автоматизации –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, Нальчик, ул. Шортанова, 89 А

Аннотация. В рамках данной работы поставлены и исследованы три локальные краевые задачи для модельного уравнения гиперболического типа третьего порядка. Решения поставленных задач выписаны в явном виде. Найдены условия на заданные функции, обеспечивающие регулярность решений соответствующих задач. Найденные представления решений задач найдут применение при дальнейших постановках и исследованиях краевых задач для различных уравнений смешанного и смешанно-составного типов с аналогичным модельным оператором в области гиперболичности.

Ключевые слова: уравнения гиперболического типа третьего порядка, характеристики уравнения третьего порядка, характеристические координаты, локальная задача, нелокальная задача, общее решение задачи, регулярное решение задачи

Поступила 05.09.2022, одобрена после рецензирования 26.09.2022, принята к публикации 30.09.2022

Для цитирования. Балкизов Ж. А. Локальные краевые задачи для модельного уравнения третьего порядка гиперболического типа // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 11–18. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-11-18

MSC: 35M12

Original article

Local boundary value problems for a model equation of the third order of hyperbolic type

Zh.A. Balkizov

Institute of Applied Mathematics and Automation –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360000, Russia, Nalchik, 89 A Shortanov street

Annotation. Within the framework of this work, three local boundary value problems for a model equation of hyperbolic type of the third order are formulated and investigated. The solutions of the problems posed are written out explicitly. Conditions are found for given functions that ensure the regularity of solutions to the corresponding problems. The obtained representations of solutions to problems will find applications in further formulations and studies of boundary value problems for various equations of mixed and mixed-composite types with a similar model operator in the hyperbolicity domain.

Key words: equations of hyperbolic type of the third order, characteristics of a third order equation, characteristic coordinates, local problem, nonlocal problem, general solution of the problem, regular solution of the problem

Submitted 05.09.2022,

approved after reviewing 26.09.2022,

accepted for publication 30.09.2022

For citation. Balkizov Zh.A. Local boundary value problems for a model equation of the third order of hyperbolic type. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 5(109). Pp. 11–18. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-11-18

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время вызывает большой практический и теоретический интерес исследование локальных и нелокальных краевых задач для гиперболических уравнений третьего порядка. Обусловлено это тем, что решение многих прикладных задач физики, механики, биологии сводится к исследованию тех или иных локальных и нелокальных краевых задач для уравнений третьего порядка гиперболического типа. Например, известно, что вопросы фильтрации жидкости в пористых средах [1, 2], передачи тепла в гетерогенной среде [3, 4], влагопереноса в почвогрунтах [5; 6, с. 137] приводят к модифицированным уравнениям диффузии, которые являются уравнениями в частных производных гиперболического типа третьего порядка.

Исследованию краевых задач для модифицированного уравнения влагопереноса и численным методам их решений посвящены работы [7–10]. Нелокальные задачи для уравнений третьего порядка гиперболического типа различными методами изучены в работах [11–14]. В работах [15–16] получены представления регулярных решений первой и смешанной краевой задачи соответственно для неоднородного уравнения Аллера. Первая краевая задача в нелокальной постановке для обобщенного уравнения Аллера изучена в работе [17]. Краевые задачи для различных уравнений смешанного и смешанно-составного типов третьего порядка исследованы в работе [18]. Здесь же приведен достаточно полный список работ по исследованиям в области уравнений смешанного и смешанно-составного типов третьего порядка.

Однако малоизученным остается вопрос постановки краевых условий для отдельных видов общих и модельных уравнений третьего порядка гиперболического типа, обеспечивающих существование и единственность решения соответствующих задач.

В данной работе поставлены и исследованы краевые задачи для модельного уравнения гиперболического типа третьего порядка, решения которых выписаны в явном виде. Найдены условия на заданные функции, обеспечивающие регулярность решений соответствующих задач. Найденные представления могут применяться при решении различных реальных физических и биологических задач, математическое моделирование которых требует изучения задач, подобных исследуемым в работе. Также они найдут применение при дальнейших постановках и исследованиях краевых задач для различных уравнений смешанного и смешанно-составного типов с аналогичным модельным оператором в области гиперболичности.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

На евклидовой плоскости точек (x, y) рассмотрим уравнение третьего порядка гиперболического типа следующего вида:

$$\left(\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}\right)(u_{xx} - u_{yy}) = f(x, y), \quad (1)$$

где $f(x, y)$ – заданная функция, $u = u(x, y)$ – искомая функция.

Уравнение (1) рассматривается в области Ω , ограниченной отрезком $AB = \{(x, y): 0 < x < r, y = 0\}$ прямой $y = 0$, а также характеристиками $AC: y - x = 0$, $BC: y + x = r$ уравнения (1). Здесь $A = (0, 0)$, $B = (r, 0)$, $C = \left(\frac{r}{2}, \frac{r}{2}\right)$.

На отрезке AB прямой $y=0$ возьмем произвольную точку $(x,0)$ и через данную точку проведем две характеристики уравнения (1), параллельные характеристикам AC и BC . Соответствующие точки пересечения с характеристиками AC и BC обозначим через

$$\theta_0(x) = \left(\frac{x}{2}, \frac{x}{2} \right), \quad \theta_r(x) = \left(\frac{r+x}{2}, \frac{r-x}{2} \right).$$

Регулярным в области Ω решением уравнения (1) назовем всякую функцию $u = u(x, y)$ из класса $u \in C(\overline{\Omega}) \cap C_{x,y}^{i,j}(\Omega)$, ($i = \overline{0,3}$, $j = \overline{0,3}$, $i + j = 3$), при подстановке которой уравнение (1) обращается в тождество.

Задача 1. Найти регулярное в области Ω решение уравнения (1), удовлетворяющее краевым условиям

$$u(x,0) = \tau(x), \quad 0 \leq x \leq r, \quad (2)$$

$$u[\theta_0(x)] = \varphi(x), \quad 0 \leq x \leq r, \quad (3)$$

$$u[\theta_r(x)] = \psi(x), \quad 0 \leq x \leq r, \quad (4)$$

где $\tau(x)$, $\varphi(x)$, $\psi(x)$ – заданные функции.

Задача 2. Найти регулярное в области Ω решение уравнения (1), удовлетворяющее краевым условиям (2), (3) и условию

$$u_y(x,0) = \nu(x), \quad 0 < x < r, \quad (5)$$

где $\tau(x)$, $\nu(x)$, $\varphi(x)$ – заданные функции.

Задача 3. Найти регулярное в области Ω решение уравнения (1), удовлетворяющее краевым условиям (2), (4), (5), где $\tau(x)$, $\nu(x)$, $\psi(x)$ – заданные функции.

Сформулированные выше задачи 1–3 относятся к классу локальных краевых задач для уравнения (1) [19, с. 135].

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ 1

Справедлива следующая теорема

Теорема 1. Пусть заданные функции $\tau(x)$, $\varphi(x)$, $\psi(x)$, $f(x, y)$ таковы, что они обладают свойствами

$$\tau(x), \varphi(x), \psi(x) \in C[0, r] \cap C^3]0, r[, \quad f(x, y) \in C(\overline{\Omega})$$

и выполнены условия согласования: $\tau(0) = \varphi(0)$, $\tau(r) = \psi(r)$, $\psi(0) = \varphi(r)$.

Тогда существует единственное регулярное в области Ω решение задачи 1.

Действительно, найдем сначала общее решение уравнения (1). В развернутом виде уравнение (1) переписывается так:

$$u_{xxx} + u_{xxy} - u_{xyy} - u_{yyy} = f(x, y). \quad (6)$$

В характеристических координатах $\xi = x + y$, $\eta = x - y$ уравнение (6) запишется в следующем виде:

$$8u_{\xi\xi\eta} = f\left(\frac{\xi + \eta}{2}, \frac{\xi - \eta}{2}\right). \quad (7)$$

Интегрируя уравнение (7) сначала два раза по первой переменной ξ , а затем один раз по второй переменной η , находим

$$u(\xi, \eta) = F_1(\xi) + \xi F_2(\eta) + F_3(\eta) + \frac{1}{8} \int_0^\xi \int_0^\eta (\xi - s) f\left(\frac{s+t}{2}, \frac{s-t}{2}\right) dt ds, \quad (8)$$

где F_1, F_2, F_3 являются произвольными функциями своих аргументов.

Возвращаясь к прямоугольным координатам (x, y) , из (8) получим общее решение уравнения (1):

$$u(x, y) = F_1(x+y) + (x+y)F_2(x-y) + F_3(x-y) + \frac{1}{8} \int_0^{x+y} \int_0^{x-y} (x+y-s) f\left(\frac{s+t}{2}, \frac{s-t}{2}\right) dt ds. \quad (9)$$

Удовлетворяя (9) заданным начально-краевым условиям (2) – (4), получим

$$\begin{cases} F_1(x) + xF_2(x) + F_3(x) = \tau(x) - \frac{1}{8} \int_0^x \int_0^x (x-s) f\left(\frac{s+t}{2}, \frac{s-t}{2}\right) dt ds, \\ F_1(x) + xF_2(0) + F_3(0) = \varphi(x), \\ F_1(r) + rF_2(x) + F_3(x) = \psi(x) - \frac{1}{8} \int_0^r \int_0^x (r-s) f\left(\frac{s+t}{2}, \frac{s-t}{2}\right) dt ds. \end{cases} \quad (10)$$

Решая систему (10), находим, что

$$F_1(x) = \varphi(x) - xF_2(0) - F_3(0),$$

$$F_2(x) = \frac{\psi(x) - \tau(x) + \varphi(x) - \varphi(r)}{r-x} + F_2(0) - \frac{1}{8(r-x)} \int_0^r \int_0^x (r-s) f\left(\frac{s+t}{2}, \frac{s-t}{2}\right) dt ds + \\ + \frac{1}{8(r-x)} \int_0^x \int_0^x (x-s) f\left(\frac{s+t}{2}, \frac{s-t}{2}\right) dt ds,$$

$$F_3(x) = \frac{r\tau(x) - x\psi(x) + x\varphi(r) - r\varphi(x)}{r-x} + F_3(0) - \frac{r}{8(r-x)} \int_0^x \int_0^x (x-s) f\left(\frac{s+t}{2}, \frac{s-t}{2}\right) dt ds + \\ + \frac{x}{8(r-x)} \int_0^r \int_0^x (r-s) f\left(\frac{s+t}{2}, \frac{s-t}{2}\right) dt ds.$$

Тогда, возвращаясь к формуле (9), находим решение задачи 1 в виде

$$u(x, y) = \varphi(x+y) + \frac{1}{8} \int_0^{x+y} \int_0^{x-y} (x+y-s) f\left(\frac{s+t}{2}, \frac{s-t}{2}\right) dt ds + \\ + \frac{1}{r-x+y} \left\{ 2y \left[\psi(x-y) - \varphi(r) - \frac{1}{8} \int_0^r \int_0^{x-y} (r-s) f\left(\frac{s+t}{2}, \frac{s-t}{2}\right) dt ds \right] + \right. \\ \left. + (x+y-r) \left[\tau(x-y) + \varphi(x-y) + \frac{1}{8} \int_0^{x-y} \int_0^{x-y} (x-y-s) f\left(\frac{s+t}{2}, \frac{s-t}{2}\right) dt ds \right] \right\}. \quad (11)$$

Из свойств заданных функций $\tau(x)$, $\varphi(x)$, $\psi(x)$, перечисленных в **теореме 1**, следует, что функция $u(x, y)$, определенная формулой (11), и есть представление единственного регулярного в области Ω решения задачи 1.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ 2

Перейдем к исследованию задачи 2. Здесь справедлива следующая

Теорема 2. Пусть заданные функции $\tau(x)$, $\varphi(x)$, $\nu(x)$, $f(x, y)$ таковы, что они обладают свойствами

$$\tau(x), \varphi(x) \in C^1[0, r] \cap C^4]0, r[, \quad (12)$$

$$\nu(x) \in C[0, r] \cap C^3]0, r[, \quad f(x, y) \in C(\overline{\Omega}) \quad (13)$$

и выполнены условия согласования $\tau(0) = \varphi(0)$, $\nu(0) + \tau'(0) = 2\varphi'(0)$.

Тогда существует единственное регулярное в области Ω решение задачи 2.

Действительно, воспользуемся полученным выше представлением общего решения (9) уравнения (1). Удовлетворяя (9) условиям (2), (3), (5), приходим к следующей системе относительно $F_i(x)$, $i = \overline{1,3}$:

$$\begin{cases} F_1(x) + xF_2(x) + F_3(x) = \tau(x) - \frac{1}{8} \int_0^x \int_0^x (x-s) f\left(\frac{s+t}{2}, \frac{s-t}{2}\right) dt ds, \\ F_1(x) + xF_2(0) + F_3(0) = \varphi(x), \\ F_1'(x) + F_2(x) - xF_2'(x) - F_3'(x) = \\ = \nu(x) + \frac{1}{8} \int_0^x (x-s) f\left(\frac{s+x}{2}, \frac{s-x}{2}\right) ds - \frac{1}{8} \int_0^x \int_0^x f\left(\frac{s+t}{2}, \frac{s-t}{2}\right) dt ds. \end{cases} \quad (14)$$

Из системы (14) находим:

$$F_1(x) = \varphi(x) - xF_2(0) - F_3(0);$$

$$F_2(x) = \frac{\nu(x) + \tau'(x)}{2} - \varphi'(x) - \frac{1}{8} \int_0^x \int_0^x f\left(\frac{s+t}{2}, \frac{s-t}{2}\right) dt ds + F_2(0);$$

$$F_3(x) = \tau(x) - \varphi(x) + x\varphi'(x) - \frac{x}{2}[\nu(x) + \tau'(x)] + \frac{1}{8} \int_0^x \int_0^x s f\left(\frac{s+t}{2}, \frac{s-t}{2}\right) dt ds + F_3(0).$$

Подставляя найденные значения $F_i(x)$, $i = \overline{1,3}$ в формулу (9), находим решение задачи 2 для уравнения (1) в следующем виде:

$$\begin{aligned} u(x, y) = & \tau(x-y) + y\tau'(x-y) + \varphi(x+y) + \varphi(x-y) - 2y\varphi'(x-y) + y\nu(x-y) + \\ & + \frac{1}{8} \int_0^{x-y} \int_{x-y}^{x+y} (x+y-s) f\left(\frac{s+t}{2}, \frac{s-t}{2}\right) dt ds. \end{aligned} \quad (15)$$

Если заданные функции обладают свойствами (12), (13) и выполнены приведенные в **теореме 2** условия согласования, то формула (15) является представлением единственного регулярного решения задачи 2.

Далее, проведя аналогичные вычисления, получим представление решения задачи 3 вида

$$\begin{aligned}
 u(x, y) = & \tau(x+y) - \int_{x-y}^{x+y} \frac{x+y-t}{r-t} \psi'(t) dt - \frac{1}{2} \int_{x-y}^{x+y} \frac{r-x-y}{r-t} [\tau'(t) - \nu(t)] dt - \\
 & - \frac{1}{8} \int_0^r \int_{x-y}^{x+y} \frac{t-x-y}{r-t} f\left(\frac{s+t}{2}, \frac{s-t}{2}\right) dt ds + \frac{1}{8} \int_{x-y}^{x+y} \int_0^t \frac{(r-x-y)(t-s)}{r-t} f\left(\frac{s+t}{2}, \frac{s-t}{2}\right) dt ds - \\
 & - \frac{1}{8} \int_0^{x+y} \int_{x-y}^{x+y} (x+y-s) f\left(\frac{s+t}{2}, \frac{s-t}{2}\right) dt ds. \quad (16)
 \end{aligned}$$

Из представления (16) ясно, что если $\tau(x), \psi(x) \in C^1[0, r] \cap C^4]0, r[$, $\nu(x) \in C[0, r] \cap C^3]0, r[$, $f(x, y) \in C(\bar{\Omega})$ и выполнено условие согласования $\tau(r) = \psi(r)$, то оно будет представлять собой единственное регулярное решение задачи 3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баренблатт Г. И., Желтов Ю. П., Кочина И. Н. Об основных представлениях теории фильтрации однородных жидкостей в трещиноватых породах // Прикладная математика и механика. 1960. Т. 25. Вып. 5. С. 852–864.
2. Дзекцер Е. С. Уравнения движения подземных вод со свободной поверхностью в многослойных средах // Доклады АН СССР. 1975. Т. 220. № 3. С. 540–543.
3. Рубинштейн Л. И. К вопросу о процессе распространения тепла в гетерогенных средах // Известия АН СССР. Серия География. 1948. Т. 12. № 1. С. 27–45.
4. Ting T., Cooling A. Process according to two temperature theory of heat conduction // J. Math. Anal. Appl. 1974. Vol. 45. № 9. Pp. 23–31.
5. Hallaire M. L'eau et la production vegetable // Inst. National de la Recherche Agronomique. 1964. № 9.
6. Чудновский А. Ф. Теплофизика почв. Москва: Наука, 1976. 352 с.
7. Канчукоев В. З., Шхануков М. Х. Краевые задачи для модифицированного уравнения влагопереноса и сеточные методы их решения // Дифференциальные уравнения. 1979. Т. 15. № 1. С. 68–73.
8. Шхануков М. Х. О некоторых краевых задачах для уравнения третьего порядка, возникающих при моделировании фильтрации жидкости в пористых средах // Дифференциальные уравнения. 1982. Т. 18. № 4. С. 689–699.
9. Шхануков М. Х. Об одном методе решения краевых задач для уравнений третьего порядка // Доклады АН СССР. 1982. Т. 265. № 6. С. 1327–1330.
10. Водахова В. А. Краевая задача с нелокальным условием А. М. Нахушева для одного псевдопараболического уравнения влагопереноса // Дифференциальные уравнения. 1982. Т. 18. № 2. С. 280–285.
11. Водахова В. А. Об одной краевой задаче для уравнения третьего порядка с нелокальным условием А. М. Нахушева // Дифференциальные уравнения. 1983. Т. 19. № 1. С. 163–166.
12. Бештоков М. Х. К нелокальным краевым задачам для дифференциальных уравнений в частных производных третьего порядка // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Математика. Физика. 2013. № 5(148). Выпуск 30. С. 25–47.
13. Бештоков М. Х. Метод Римана для решения нелокальных краевых задач для псевдопараболических уравнений третьего порядка // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Физ.-мат. науки. 2013. № 4(33). С. 15–24.

14. *Бештоков М. Х.* Априорные оценки решения нелокальных краевых задач для псевдопараболического уравнения // *Владикавказский математический журнал.* 2013. Т. 15. № 3. С. 19–36.
15. *Макаова Р. Х.* Первая краевая задача для неоднородного уравнения Аллера // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки.* 2016. № 4–1(15). С. 45–49.
16. *Макаова Р. Х.* Смешанная задача для неоднородного уравнения Аллера // *Доклады АМАН.* 2021. Т. 21. № 4. С. 18–21.
17. *Макаова Р. Х.* Первая краевая задача в нелокальной постановке для обобщенного уравнения Аллера с дробной производной Римана-Лиувилля // *Вестник АГУ. Серия 4: Естественно-математические и технические науки.* 2017. № 4(211). С. 36–41.
18. *Джураев Т. Д.* Краевые задачи для уравнений смешанного и смешанно-составного типов. Ташкент: ФАН, 1979. 238 с.
19. *Нахушев А. М.* Уравнения математической биологии. Москва: Высшая школа, 1995. 301 с.

Информация об авторе

Балкизов Жираслан Анатольевич, канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. отдела уравнения смешанного типа, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;
360000, Россия, Нальчик, ул. Шортанова, 89 А;
Giraslan@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5329-7766>

REFERENCES

1. Barenblatt G.I., Zheltov Yu.P., Kochina I.N. On the basic ideas of the theory of filtration of homogeneous liquids in fractured rocks. *Applied Mathematics and Mechanics.* 1960. Vol. 25. No. 5. Pp. 852–864. (In Russian)
2. Dzektser Ye.S. Equations of motion of groundwater with a free surface in multilayer media. *Reports of the Academy of Sciences of the USSR.* 1975. Vol. 220. No. 3. Pp. 540–543. (In Russian)
3. Rubinshteyn L.I. To the question of the process of heat propagation in heterogeneous media. *News of the Academy of Sciences of the USSR. Series Geography.* 1948. Vol. 12. No. 1. Pp. 27–45. (In Russian)
4. Ting T., Cooling A. Process according to two temperature theory of heat conduction. *J. Math. Anal. Appl.* 1974. Vol. 45. No. 9. Pp. 23–31.
5. Hallaire M. L'eau et la production vegetable. *Inst. National de la Recherche Agronomique.* 1964. No. 9.
6. Chudnovskiy A.F. *Teplofizika pochv* [Soil thermophysics]. Moscow: Nauka, 1976. 352 p. (In Russian)
7. Kanchukov V.Z., Shkhanukov M.Kh. Boundary Value Problems for the Modified Moisture Transfer Equation and Grid Methods for Their Solution. *Differential Equations.* 1979. Vol. 15. No. 1. Pp. 68–73. (In Russian)
8. Shkhanukov M.Kh. On some boundary value problems for a third-order equation arising in modeling fluid filtration in porous media. *Differential Equations.* 1982. Vol. 18. No. 4. Pp. 689–699. (In Russian)
9. Shkhanukov M.Kh. On a method for solving boundary value problems for third-order equations. *Reports of the Academy of Sciences of the USSR.* 1982. Vol. 265. No. 6. Pp. 1327–1330. (In Russian)

10. Vodakhova V.A. A Nakhushev's boundary value problem with a nonlocal condition for a pseudoparabolic moisture transfer equation. *Differential Equations*. 1982. Vol. 18. No. 2. Pp. 280–285. (In Russian)
11. Vodakhova V.A. On a Nakhushev's boundary value problem for a third-order equation with a nonlocal condition. *Differential Equations*. 1983. Vol. 19. No. 1. Pp. 163–166. (In Russian)
12. Beshtokov M.Kh. On nonlocal boundary value problems for third-order partial differential equations. *Belgorod State University Scientific Bulletin*. 2013. No. 5(148). No. 30. Pp. 25–47. (In Russian)
13. Beshtokov M.Kh. The Riemann method for solving nonlocal boundary value problems for third-order pseudoparabolic equations. *Bulletin of the Samara State Technical University. Series of Phys.-Math. science*. 2013. No. 4(33). Pp. 15–24. (In Russian)
14. Beshtokov M.Kh. A priori estimates for the solution of nonlocal boundary value problems for a pseudoparabolic equation. *Vladikavkaz Mathematical Journal*. 2013. Vol. 15. No. 3. Pp. 19–36. (In Russian)
15. Makaova R.Kh. The first boundary value problem for the inhomogeneous Aller equation. *Bulletin KRASEC. Physical and Mathematical Sciences*. 2016. No. 4–1(15). Pp. 45–49. (In Russian)
16. Makaova R.Kh. Mixed problem for the inhomogeneous Aller equation. *Adyghe international scientific journal*. 2021. Vol. 21. No. 4. Pp. 18–21. (In Russian)
17. Makaova R.Kh. The first boundary value problem in a non-local setting for the generalized Aller equation with a fractional Riemann-Liouville derivative. *The Bulletin of Adyghe State University: Internet Scientific Journal*. 2017. No. 4(211). Pp. 36–41. (In Russian)
18. Dzhurayev T.D. *Krayevyye zadachi dlya uravneniy smeshannogo i smeshanno-sostavnogo tipov* [Boundary value problems for equations of mixed and mixed composite types]. Tashkent: FAN. 1979. 238 p. (In Russian)
19. Nakhushev A.M. *Uravneniya matematicheskoy biologii* [Equations of mathematical biology]. Moscow: Vysshaya Shkola, 1995. 301 p.

Information about the author

Balkizov Zhiraslan Anatolievich, Candidate of Phys.-Math. Sci., Leading Researcher, Department of Mixed Type Equations, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
360000, Russia, Nalchik, 89 A Shortanov street;
Giraslan@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5329-7766>

Высокопроизводительные системы фенотипирования сельскохозяйственных культур

М. И. Анчёков, К. Ч. Бжихатлов, А. М. Лешкенов

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. В работе произведен анализ систем высокопроизводительного фенотипирования сельскохозяйственных культур. Рассматриваются системы на основе мобильных роботов, беспилотных летательных аппаратов и программно-аппаратные комплексы. Показано, что несмотря на существование на рынке готовых решений, они не покрывают весь спектр задач.

Ключевые слова: фенотипирование, селекция, робототехника

Поступила 07.10.2022, одобрена после рецензирования 13.10.2022, принята к публикации 14.10.2022

Для цитирования. Анчёков М. И., Бжихатлов К. Ч., Лешкенов А. М. Высокопроизводительные системы фенотипирования сельскохозяйственных культур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 19–24. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-19-24

MSC: 68T40

Review article

High throughput crop phenotyping systems

M.I. Anchekov, K.Ch. Bzhikhatlov, A.M. Leshkenov

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street

Annotation. In this paper, the analysis of systems of high-performance phenotyping of agricultural crops is carried out. Systems based on mobile robots, unmanned aerial vehicles and software and hardware systems were considered. It is shown that despite the fact that there are ready-made solutions on the market, they do not cover the entire range of tasks.

Key words: phenotyping, selection, robotics

Submitted 07.10.2022, approved after reviewing 13.10.2022, accepted for publication 14.10.2022

For citation. Anchekov M.I., Bzhikhatlov K.Ch., Leshkenov A.M. High throughput crop phenotyping systems. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2022. No. 5 (109). Pp. 19–24. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-19-24

ВВЕДЕНИЕ

Согласно данным ООН, численность населения земли к 2030 году может достигнуть 8,5 млрд человек, а к 2050-му – 9,7 млрд человек [1]. При этом число голодающих в 2021 году в мире достигло 828 млн. В таких условиях задача обеспечения населения продовольствием актуализируется с новой силой. Ситуация усугубляется тем, что глобальное потепление приводит к расширению ареала вредителей и опустыниванию сельхозугодий. Одним из

способов решения данных проблем является увеличение объемов и экономической эффективности производства сельхозпродукции. Однако данное увеличение невозможно без вывода новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур.

На данный момент такие мировые лидеры, как Monsanto, Seminis, Syngenta Sinochem Holdings и др., способны выпускать новые гибриды каждые 2–3 года, в то время как для российских производителей этот период составляет 8–10 лет. На наш взгляд, существенное сокращение времени создания новых сортов и гибридов возможно только при условии интеллектуализации и роботизации данных процессов.

Фенотипирование растений является одним из важнейших и трудоемких процессов в селекции сельскохозяйственных культур. В данной статье рассматриваются системы фенотипирования, которые можно отнести к высокопроизводительным. Это решения на основе робототехнических систем и систем автоматизации (программно-аппаратные комплексы). Подобный акцент связан с тем, что требования селекционного процесса и современные тенденции перехода к точному земледелию смещают фокус интереса с поля до конкретного растения. Только массовое внедрение интеллектуальных и роботизированных систем способно обеспечить экономическую эффективность подобного перехода.

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ФЕНОТИПИРОВАНИЯ

В работе [2] представлена разработанная четырехколесная двухосная платформа с размерами (Ш×Г×В) 0,56×1,34×1,83 м. Платформа оснащена штангой, на которой крепятся антенны, камеры и манипулятор, оснащенный пенетрометром. Обнаружение стеблей производится на основе данных камер, которые обрабатываются алгоритмом RANSAC [3]. Время обработки одного стебля составляет примерно 10 секунд. На полевых испытаниях алгоритм обнаружения успешно идентифицировал 25 из 26 стеблей. Траектория робота корректируется алгоритмом Pure Pursuits [4]. Разработанная авторами роботизированная платформа прошла предварительные испытания, в которых была продемонстрирована принципиальная исполнимость поставленных задач. Также отметим, что разработанная платформа может обработать только одно междурядье и что измерения степени спелости проводятся с использованием инвазивного метода. Это, с одной стороны, плохо сказывается на состоянии растения, а с другой – отрицательно влияет на производительность фенотипирования.

Потребность в высокой производительности вынуждает разработчиков использовать большее количество сенсоров и наращивать механическую мощность роботизированных платформ. Авторы [5, 6] пошли по пути увеличения массы платформы, что позволило им использовать большее количество сенсоров с высокими разрешающими характеристиками. Разрабатываемый ими робот был назван Phenomobile. В [5] представлена транспортная платформа на гусеничном ходу с установленной стрелой длиной 12 м, которая поднимается на высоту от 1 до 4 м. Стрела оснащена платформой с установленными на ней лидарами, камерами высокого разрешения и мультиспектральными камерами со вспышкой. Заявленная производительность составляет порядка 100–200 делянков в час. Столь высокая производительность отрицательно сказалась на массе платформы, которая составляет порядка 8 тонн, что предполагает специальное обустройство полей для прохождения данной платформы без повреждения растений.

Как показано выше, одной из важнейших составляющих систем высокопроизводительного фенотипирования является транспортная платформа. Успехи в развитии беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и их доступность вызывают интерес у разработчиков, в связи с чем появляются проекты с применением БЛА в качестве транспортных платформ. В [7] применялись многомоторные БЛА и БЛА с фиксированным крылом для определения вы-

соты пшеницы. Для построения карты высот методом фотограмметрии использовалась программа Pix4D Mapper. Привязка полученной карты высот к реальным значениям производилась при помощи наземных контрольных точек. Авторы провели полевые испытания, в которых полученные с БЛА данные сравнивались с результатами ручного замера. Предложенный подход позволил получить статистически значимые результаты, которые свидетельствуют о возможности применения предложенного метода.

В [8] предлагается метод высокопроизводительного фенотипирования кукурузы с использованием БЛА с фиксированным крылом и пятью мультиспектральными камерами на борту. В качестве основных параметров были выбраны урожайность и прогноз вируса полосатости кукурузы (MSV). Анализ полученных результатов производился с помощью статистических методов обработки (модель множественной регрессии, дерево решений, линейная регрессия с калибровкой). Приведены положительные и отрицательные стороны каждого из методов.

Отличительной чертой применения [7–10] БЛА для высокопроизводительного фенотипирования является оснащение их набором камер, работающих в разных спектрах, с последующей обработкой полученных данных. Хочется обратить внимание на две фундаментальные проблемы, возникающие в процессе применения БЛА: во-первых, при таком высокопроизводительном фенотипировании не происходит смещение фокуса внимания с поля к конкретному растению; во-вторых, отсутствует возможность фиксации таких хозяйственно-ценных признаков, которые остаются недостижимыми для БЛА (например, длина и диаметр початка, высота прикрепления початка и т.д.).

Другим вектором развития высокопроизводительного фенотипирования являются программно-аппаратные комплексы. Мы понимаем, что провести четкую и однозначную линию между робототехническими системами и программно-аппаратными комплексами трудно, и поэтому будем считать программно-аппаратными комплексами системы автоматизации, которые не являются мобильными и функционируют в закрытых помещениях.

В [11] авторы проводят сравнение разрабатываемой ими системы цифрового фенотипирования на основе изображений (*image-based phenotype*) с уже существующими системами PlantCV v2 [12], ImageJ2 [13], IAP [14], Rosette Tracker [15], Deep Plant Phenotyping [16], LeafJ [17], Phenotyping 4D [14]. Авторы обращают внимание, что существующие системы испытывают серьезные трудности при фенотипировании растений, которые перекрываются. В результате это приводит к тому, что системы идентифицируют два и более растения как одно, что приводит к неправильным выводам. В рассматриваемой работе разделение растений осуществляется алгоритмически с использованием библиотеки OpenCV. Для тестирования предложенной системы авторы разработали программно-аппаратный комплекс в форме стола, снабженного камерами с приводами, которые фиксируют состояние растения каждые 30 минут с разных ракурсов. Следует отметить, что авторы закономерно поднимают вопрос о роли больших данных в процессе фенотипирования, однако не предлагают решение. Несмотря на то, что предложенная авторами система позволяет выделять отдельные растения, система тестировалась только для растений высотой не более 35 см.

К системам в виде программно-аппаратного комплекса можно отнести и 3d-систему, предложенную в [18]. Авторы отмечают [19, 20], что существующие системы высокопроизводительного фенотипирования являются очень дорогими, и на рынке есть спрос на системы нижнего ценового сегмента. Они предложили систему в виде прямого параллелепипеда со сторонами (Ш×Г×В) 2,1×1,2×1,4 метра, которая снабжена подвижной платформой с мультиспектральной камерой и тепловизором. Полученные изображения обрабатывались в среде Matlab R2014a. Авторами проведен ряд экспериментов, которые показали, что предложенная схема работает быстрее, чем ручное фенотипирование.

В [21] проводится анализ кроны растений с использованием автоматизированного стенда, который представляет собой горизонтальную штангу с поворотным столиком и вертикальную штангу с механизмом наклона. Разработано программное обеспечение, которое управляет степенями свободы программно-аппаратного комплекса, производит замеры геометрической структуры растений.

Особый интерес представляют системы фенотипирования растений, которые реализованы в виде мобильных приложений [22, 23]. Особенностью данного подхода является то, что разработчики фокусируются больше на методах оценки полученных данных, так как мобильные устройства не всегда могут сделать очень качественные снимки. Такой подход нельзя назвать высокопроизводительным, но, на наш взгляд, является перспективным, так как предложенные методы показывают свою применимость, а разработанное программное обеспечение можно рассматривать как готовый модуль, которым можно дооснастить роботизированные платформы, установив эти приложения на бортовые вычислители (с учетом совместимости на уровне исходных кодов и/или исполнимых файлов).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье проведен анализ систем высокопроизводительного фенотипирования, из которого можно сделать следующие выводы:

- задача высокопроизводительного фенотипирования не решена и является актуальной;
- предложенные методы можно условно разделить на две большие группы: наземные и надземные. Надземные методы, хоть и обладают большой производительностью, но не решают весь спектр задач;
- наиболее актуальными являются системы на основе автономных мобильных роботов, габаритные размеры которых позволяют проводить массовое неинвазивное фенотипирование при их нахождении непосредственно рядом с растениями.

REFERENCES

1. URL: <https://www.un.org/ru/global-issues/population> (дата обращения 31.10.2022 г.)
2. *Mueller-Sim T.* The Robotanist: A ground-based agricultural robot for high-throughput crop phenotyping. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. 2017. DOI: 10.1109/ICRA.2017.7989418.
3. *Fischler M.A., Bolles R.C.* Random sample consensus. *Commun. ACM*. 1981. Vol. 24. No. 6. Pp. 381–395.
4. *Coulter R.* Implementation of the pure pursuit path tracking algorithm. Carnegie Mellon University – Robotics Institute, *Tech. Rep.*, January 1992.
5. *Baret F., de Solan B., Thomas S. [et al].* Phenomobile: A fully automatic robot for high-throughput field phenotyping of a large range of crops with active measurements. April 2022, https://www.robopec.com/wp-content/uploads/2020/08/IAMPS_Phenomobile.pdf
6. *Madec S., Baret F., de Solan B. [et al].* High-throughput phenotyping of plant height: comparing unmanned aerial vehicles and ground lidar estimates. *Frontiers in Plant Science*. 2017. No. 8. DOI: 10.3389/fpls.2017.02002.
7. *Volpato L. [et al].* High Throughput Field Phenotyping for Plant Height Using UAV-Based RGB Imagery in Wheat Breeding Lines: Feasibility and Validation. *Front. Plant Sci*. 2021. Vol. 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.591587>
8. *Chivasa W., Mutanga O., Burgueño J.* UAV-based high-throughput phenotyping to increase prediction and selection accuracy in maize varieties under artificial MSV inoculation. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. Vol. 184. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106128.

9. Su W. [et al]. Phenotyping of Corn Plants Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images. *Remote Sensing*. 2019. Vol. 11. No. 17. <https://doi.org/10.3390/rs11172021>
10. Buchaillet Ma.L. [et al]. Evaluating Maize Genotype Performance under Low Nitrogen Conditions Using RGB UAV Phenotyping Techniques. *Sensors*. 2019. Vol. 19. No. 8. DOI: 10.3390/s19081815.
11. Arunachalam A., Andreasson H. Real-time plant phenomics under robotic farming setup: A vision-based platform for complex plant phenotyping tasks. *Computers & Electrical Engineering*. 2021. Vol. 92. DOI: 10.1016/j.compeleceng.2021.107098.
12. Gehan M. A. [et al]. PlantCV v2: Image analysis software for high-throughput plant phenotyping. *PeerJ*. 2017. Vol. 5. DOI: 10.7717/peerj.4088.
13. Rueden C. T. [et al]. ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data. *BMC Bioinformatics*. 2017. Vol. 18. No. 1. <https://doi.org/10.1186/s12859-017-1934-z>
14. Klukas C., Chen D., Pape J.-M. Integrated Analysis Platform: An Open-Source Information System for High-Throughput Plant Phenotyping. *Plant Physiology*. 2014. Vol. 165. No. 2. Pp. 506–518. <https://doi.org/10.1104/pp.113.233932>
15. De Vyllder J. [et al]. Rosette Tracker: An Open Source Image Analysis Tool for Automatic Quantification of Genotype Effects. *Plant Physiology*. 2012. Vol. 160. No. 3. Pp. 1149–1159. <https://www.jstor.org/stable/41693984>
16. Ubbens J. R., Stavness I. Deep Plant Phenomics: A Deep Learning Platform for Complex Plant Phenotyping Tasks. *Front. Plant Sci*. 2017. Vol. 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01190>
17. Apelt F. [et al]. Phytotyping 4D: a light-field imaging system for non-invasive and accurate monitoring of spatio-temporal plant growth. *Plant J*. 2015. Vol. 82. No. 4. Pp. 693–706. DOI: 10.1111/tpj.12833
18. Zhang C. [et al]. 3D Robotic System Development for High-throughput Crop Phenotyping. *IFAC-PapersOnLine*. 2016. Vol. 49. No. 16. Pp. 242–247. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.045>
19. Mazis A. [et al]. Application of high-throughput plant phenotyping for assessing biophysical traits and drought response in two oak species under controlled environment. *Forest Ecology and Management*. 2020. Vol. 465. P. 118101. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118101>
20. URL: <https://phenospex.com/> (дата обращения 31.10.2022 г.)
21. Rakutko E.N. Determination of the crown structure of plants during their automated phenotyping. *Tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rasstenyevodstva i zhivotnovodstva* [Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products]. 2020. No. 2(103). Pp. 44–57. DOI: 10.24411/0131-5226-2020-10240. (In Russian)
Ракутько Е. Н. Определение структуры кроны растений при их автоматизированном фенотипировании // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2020. № 2(103). С. 44–57. DOI: 10.24411/0131-5226-2020-10240.
22. Braginsky M.Ya., Tarakanov D.V. Plant phenotyping by an adaptive image processing system based on convolutional neural networks. *Izdatel'skiy tsentr Sur-GU* [Publishing Center of SurSU]. 2021. No. 2(42). Pp. 6–16. DOI: 10.34822/1999-7604-2021-2-6-16. (In Russian)
Брагинский М. Я., Тараканов Д. В. Фенотипирование растений адаптивной системой обработки изображений на базе сверточных нейронных сетей // Вестник кибернетики. 2021. № 2(42), С. 6–16. DOI: 10.34822/1999-7604-2021-2-6-16.
23. Röckel F. [et al]. PhenoApp: A mobile tool for plant phenotyping to record field and greenhouse observations. *F1000Res*. 2022. Vol. 11. P. 12.

Информация об авторах

Анчёков Мурат Инусович, науч. сотр. лаборатории «Молекулярная селекция и биотехнология», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224;

murat.antchok@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8977-797X>

Бжихатлов Кантемир Чамалович, канд. физ.-мат. наук, зав. лабораторией «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360002, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2;

haosit13@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0924-0193>

Лешкенов Аслан Мухамедович, зав. лабораторией «Сельскохозяйственная робототехника», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360002, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2;

aslan.leshckenov@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9516-3213>

Information about the authors

Anchekov Murat Inusovich, staff scientist of the laboratory «Molecular selection and biotechnology», Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, KBR, Nalchik, 224 Kirova street;

murat.antchok@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8977-797X>

Bzhikhatlov Kantemir Chamalovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Laboratory «Neurocognitive autonomous intelligent systems», Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360002, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

haosit13@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0924-0193>

Leshckenov Aslan Muhamedovich, Head of the Laboratory «Agricultural robotics», Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360002, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

aslan.leshckenov@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9516-3213>

Коллаборативная селекционная система на основе консорциума гетерогенных интеллектуальных агентов

М. И. Анчёков, З. И. Боготова, И. А. Пшенокова, З. В. Нагоев, Б. Р. Шомахов

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Разработана архитектура человеко-машинной интеллектуальной системы на основе консорциума интеллектуальных программных и киберфизических агентов, выполняющих имитационное моделирование, принятие решений и синтез кооперативного управления процессами селекции и семеноводства. Понимание содержательного смысла и коллективное принятие решений в производственных и агротехнических циклах селекции и семеноводства в системах на основе такой вычислительной архитектуры будет обеспечиваться работой кооперативных интеллектуальных программных агентов общего искусственного интеллекта на базе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур. Разработанная вычислительная модель распределенного консорциума гетерогенных интеллектуальных агентов может быть применена для создания интеллектуальных экспертных и коллаборативных информационно-управляющих систем, обеспечивающих существенное повышение эффективности селекции и семеноводства на основе применения самообучающихся децентрализованных мультиагентных нейрокогнитивных систем управления процессами точной селекции и семеноводства.

Ключевые слова: искусственный интеллект, коллаборативные системы, точная селекция, семеноводство, мультиагентные системы, роботы

Поступила 05.10.2022, одобрена после рецензирования 13.10.2022, принята к публикации 14.10.2022

Для цитирования. Анчёков М. И., Боготова З. И., Пшенокова И. А., Нагоев З. В., Шомахов Б. Р. Коллаборативная селекционная система на основе консорциума гетерогенных интеллектуальных агентов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 25–37. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-25-37

MSC: 68T42

Original article

Collaborative breeding system based on a consortium of heterogeneous intelligent agents

M.I. Anchekov, Z.I. Bogotova, I.A. Pshenokova, Z.V. Nagoev, B.R. Shomakhov

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street

Annotation. The architecture of a human-machine intelligent system has been developed based on a consortium of intelligent software and cyber-physical agents that perform simulation modeling, decision making and synthesis of cooperative control of selection and seed production processes. Understanding the meaningful content and collective decision-making in the production and agrotechnical cycles of breeding and seed production in systems based on such a computing architecture will be ensured by the work of cooperative intelligent software agents of general artificial intelligence based on multi-agent neurocognitive architectures.

The developed computational model of a distributed consortium of heterogeneous intelligent agents can be used to create intelligent expert and collaborative information and control systems that provide a significant increase in the efficiency of breeding and seed production based on the use of self-learning decentralized multi-agent neurocognitive systems for controlling the processes of precise selection and seed production.

Key words: artificial intelligence, collaborative systems, precise selection, seed production, multi-agent systems, robots

Submitted 05.10.2022,

approved after reviewing 13.10.2022,

accepted for publication 14.10.2022

For citation. Anchekov M.I., Bogotova Z.I., Pshenokova I.A., Nagoev Z.V., Shomakhov B.R. Collaborative breeding system based on a consortium of heterogeneous intelligent agents. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 5 (109). Pp. 25–37. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-25-37

ВВЕДЕНИЕ

Рост производительности и эффективности современного растениеводства в значительной степени обусловлен качеством семенного материала. Ключевую роль здесь играют селекция и семеноводство, конкуренция в которых давно уже стала глобальной. Применение цифровых технологий в свою очередь значительно интенсифицирует процессы в этих весьма сложных в организационном плане наукоемких междисциплинарных направлениях.

Сложность заключается в длительности, многоэтапности селекционно-семеноводческого цикла, высокой неопределенности условий принятия решений, действии многочисленных стохастических факторов.

Зарубежные промышленные системы автоматизации селекционно-семеноводческого цикла к настоящему моменту получили широкое распространение в мире. В нашей стране они используются лишь некоторыми селекционными центрами. Это, как, правило, автоматизированные информационные системы, обеспечивающие прежде всего планирование и учет результатов селекционно-семеноводческих экспериментов.

Проекты, ориентированные на применение систем машинного обучения и интеллектуального анализа данных для автоматизации работы селекционера, учитывающие результаты применения т.н. омиксных технологий, активно развиваются, но находятся пока на ранних стадиях.

Самые современные проекты используют метафору проектирования «точной селекции» для обозначения интеллектуальных интегрированных информационно-управляющих систем, включающих наряду с системами интеллектуальной обработки данных еще и роботов, стационарных и мобильных, различные системы автоматизации и мехатронные агрегаты. Принципиальным отличием таких систем является формирование «сквозных» моделей селекционно-семеноводческих процессов на основе непрерывного анализа неструктурированных потоков данных и применение робототехнических комплексов для общего повышения производительности и снижения неопределенностей, связанных с «человеческим фактором».

Однако такие системы во всем мире пока еще находятся на стадии исследований и разработок. Ключевой проблемой является низкая фактическая эффективность существующих сегодня систем искусственного интеллекта. Это создает возможности для конкуренции с ведущими мировыми разработчиками подобных технологий.

Применяемый в данной работе подход к проектированию интегрированных интеллектуальных информационно-управляющих систем селекции и семеноводства с использованием вычислительной абстракции консорциума гетерогенных интеллектуальных агентов создает предпосылки для опережающего развития таких технологий в нашей стране.

1. ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА

По аналогии с метафорой проектирования «точного земледелия» сегодня активно развивается метафора проектирования «точной селекции», содержательной основой которой является использование интеллектуального анализа «больших» селекционных данных, облачных технологий и машинного обучения для радикального повышения эффективности селекционного процесса.

Платформа точной селекции (Precise Breeding Platform) компании Bayer позволяет анализировать изменения в геноме растений при гибридизации, с помощью системы искусственного интеллекта определять гены, ответственные за позитивные и негативные изменения в фенотипе гибридов [5].

Программное обеспечение Easy Breed компании Wintersteiger AG представляет собой комплексную систему управления данными для селекции растений. Система позволяет накапливать, структурировать и использовать для создания новых гибридов и сортов данные полевых испытаний, результаты фенотипирования, информацию о маркерах и родословных растений. В программе также реализован планировщик скрещиваний и опытов [6].

Программа Genovix компании Agronomix, обеспечивая сходный функционал, отличается возможностью интегрировать информацию из глобально распределенных ассетов, накопленных пользователями за более, чем 40-летнюю историю, с использованием облачных хранилищ [7]. Программное обеспечение Integrated Breeding Platform также позволяет поддерживать единую базу селекционных данных, включая наименования и характеристики линий и гибридов [8]. Авторы пакета программ МВР позиционируют его как инструмент, позволяющий планировать селекционные эксперименты с учетом необходимости поддержания необходимого генетического разнообразия [11].

Чуть ли не единственный пример отечественного программного обеспечения для комплексной автоматизации селекционного процесса – программа «Генософт», позволяющая планировать, протоколировать и анализировать в диахронии селекционные эксперименты [9], пока еще только разрабатывается и не получила широкого внедрения.

В [12] описывается экспертная система по семеноводству кукурузы, позволяющая порождать, агрегировать, применять и редактировать знания.

Работы [3, 4] являются обзорными по аграрным экспертным системам, из которых видно, что в этой широкой предметной области, как правило, применяются классические подходы к управлению знаниями – формализмы на основе искусственных нейронных сетей, продукционных правил, нечетких множеств и вероятностных моделей.

Компания KWS развивает аппаратно-программный селекционный комплекс на базе системы искусственного интеллекта на основе формализма искусственных нейронных сетей и автономных мобильных роботов TerraSentia, выполняющих функции мобильных сенсоров системы. Перемещаясь по селекционным участкам, роботы собирают данные для фенотипирования, обрабатывая данные видеопотока и других датчиков. Система интересна тем, что она позволяет извлекать и применять знания на основе обработки многомодальных неструктурированных данных, имеет распределенную архитектуру и гетерогенна по составу – в ее работе задействованы роботы, программные агенты и люди.

В великолепной, вышедшей всего месяц назад работе [13] дается четкое разделение факторов, влияющих на селекционный процесс, на генетические, фенотипические и средовые, указывается необходимость сочетать в интеллектуальных системах управления селекционным процессом данные и знания, релевантные ко всем трем группам факторов.

В этой работе дается описание такой системы, основанной на применении методов машинного и глубокого обучения. В ней также отмечается, что создание таких систем на сегодняшний день сталкивается с нерешенными фундаментальными проблемами имитационного моделирования взаимодействия перечисленных групп факторов и технологическими барьерами организации подходящей вычислительной модели. Несмотря на такую констатацию, авторы не рассматривают возможность применения подхода на основе сообщества интеллектуальных агентов, обладающий его существенным потенциалом по преодолению этих трудностей.

В работе [14], посвященной применению методов машинного обучения в системах поддержки принятия решений в процессе селекции, помимо вышеперечисленных указывается также на необходимость учета в моделях знаний влияния на эффективность процесса факторов производственной логистики.

Сегодня актуализируются и работы, посвященные применению методов искусственного интеллекта для моделирования экспрессии генов, применения машинного обучения для выявления скрытых, ранее не известных генов, оказывающих влияние на эти процессы [10].

Актуальность исследования определяется необходимостью существенного повышения эффективности селекционного процесса за счет применения методов молекулярной генетики, использования робототехнических комплексов и систем искусственного интеллекта.

2. ПРОБЛЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СЕЛЕКЦИОННОМ ПРОЦЕССЕ

Селекционный процесс начинается с определения целевых характеристик заданного набора фенотипических признаков. Как правило, эти признаки являются хозяйственно полезными, т.е. создание фенотипов, обеспечивающих достижение целевых показателей, характеризующих эти признаки, и закрепление их в генотипе растений нового сорта определенной культуры являются экономически значимыми, оказывают некоторое позитивное влияние на общую эффективность возделывания и/или переработки данной культуры.

Первая проблема интеллектуальной поддержки принятия решений (ИППР) состоит в том, что селекционер при выборе стратегии селекционного процесса обладает лишь фрагментарной информацией о том, какие линии данной культуры необходимо скрестить между собой, чтобы получившиеся гибриды обладали заданными фенотипическими признаками. Если селекционер располагает результатами ранее выполненного эксперимента по скрещиванию выбранных линий, то решение принимается в условиях частичной неопределенности. Если же такая априорная информация отсутствует, то решение принимается в условиях полной неопределенности.

Вторая проблема, связанная с условиями принятия решений, состоит в том, что результаты эксперимента существенным образом зависят от средовых факторов, т.е. от внешних условий, в которых происходило развитие фенотипа растения. Такие факторы, как выбранная агротехническая тактика, погодные условия, воздействие вредоносных организмов, ресурсные ограничения весьма вариативны, что зачастую оказывает негативное влияние на чистоту эксперимента, основная цель которого заключается в установлении корреляции между генотипами и фенотипами растений.

Третья проблема состоит в том, что прогнозирование результатов и обучение по итогам эксперимента осуществляются в терминах *структурной* модели гетерозиса, хотя этот феномен, основанный на сочетанной экспрессии родительских генов, имеет ярко выраженный

динамический характер. Структурная модель, основанная на представлении о принципах кодирования признаков при наследовании доминантных и рецессивных генов, достаточно проста для понимания и построения на ее основе селекционных методик. Однако, она не обладает ни предсказательной, ни объяснительной силой в отношении закономерностей и проявлений экспрессии генов, которые непосредственно детерминируют состав и характер протекания процессов развития фенотипа растения.

Существующие на сегодняшний день молекулярные модели геномов, основанные на результатах расшифровки полногеномного секвенирования, и модели экспрессии генов, с другой стороны, слишком сложны и громоздки, и поэтому малопригодны для разработки селекционных методик на их основе – селекционеру сложно «удержать в голове» сотни тысяч и миллионы сущностей, осознать характер протекания сотен и тысяч синхронных и последовательных процессов.

В целом эта проблема иллюстрирует двойственный характер селекционного процесса, целеполагание организации которого структурировано в терминах макроскопических параметров растения, идентифицируемых внешним субъективным наблюдателем, а сущностный аспект проявляется прежде всего на субмикронном, молекулярном уровне и выражается в терминах объективных эндогенных процессов роста и развития организма.

Наличие вышеприведенных проблем в свою очередь позволяет определить характер процесса принятия селекционных решений как протекающего в условиях динамической, стохастической, неопределенной, частично наблюдаемой, эпизодической, слабоструктурированной среды.

Как известно из системного анализа, принятие решений в подобных условиях является нетривиальной задачей и требует применения методов интеллектуальной обработки информации. Как показано в [1, 2], для решения подобных задач хорошо подходят системы, основанные на метафоре проектирования *интеллектуального агента*.

Принятие решений по управлению процессом создания новых гибридов и сортов осложняется длительным итеративным характером этого процесса. Выбрав линии для скрещивания, в первый год эксперимента селекционер должен обеспечить получение семян гибрида первого поколения. Непосредственно фенотипирование самих гибридов он может осуществить только на второй год, высадив и вырастив растения из этих семян (рис. 1).

Предположим, что некоторый процент из выбранных сочетаний родительских форм привел к интенсивному гетерозису по заданным фенотипическим признакам. Чтобы подтвердить этот эффект, необходимо обеспечить повторный эксперимент, так как без устойчивой воспроизводимости результатов сложно судить о хозяйственной ценности полученного гибрида. Во время проведения повторных экспериментов, которые также могут занять от одного до нескольких лет, природные и агротехнические условия также могут быть нарушены по отношению к условиям предыдущего эксперимента, что, безусловно, могло бы дать новые ценные данные для обучения моделей протекающих процессов. Однако это возможно только в том случае, когда такие модели строятся на перманентной основе и обладают объяснительной силой. В противном случае все вышеперечисленные возмущения только усиливают неопределенность, существенно затрудняя возможность объективной оценки влияния отдельных факторов и их совокупностей на процесс и результат гибридизации. В частности, усугубляется проблема разделения влияния собственно генетических, общих биологических, природно-климатических и агротехнических факторов.

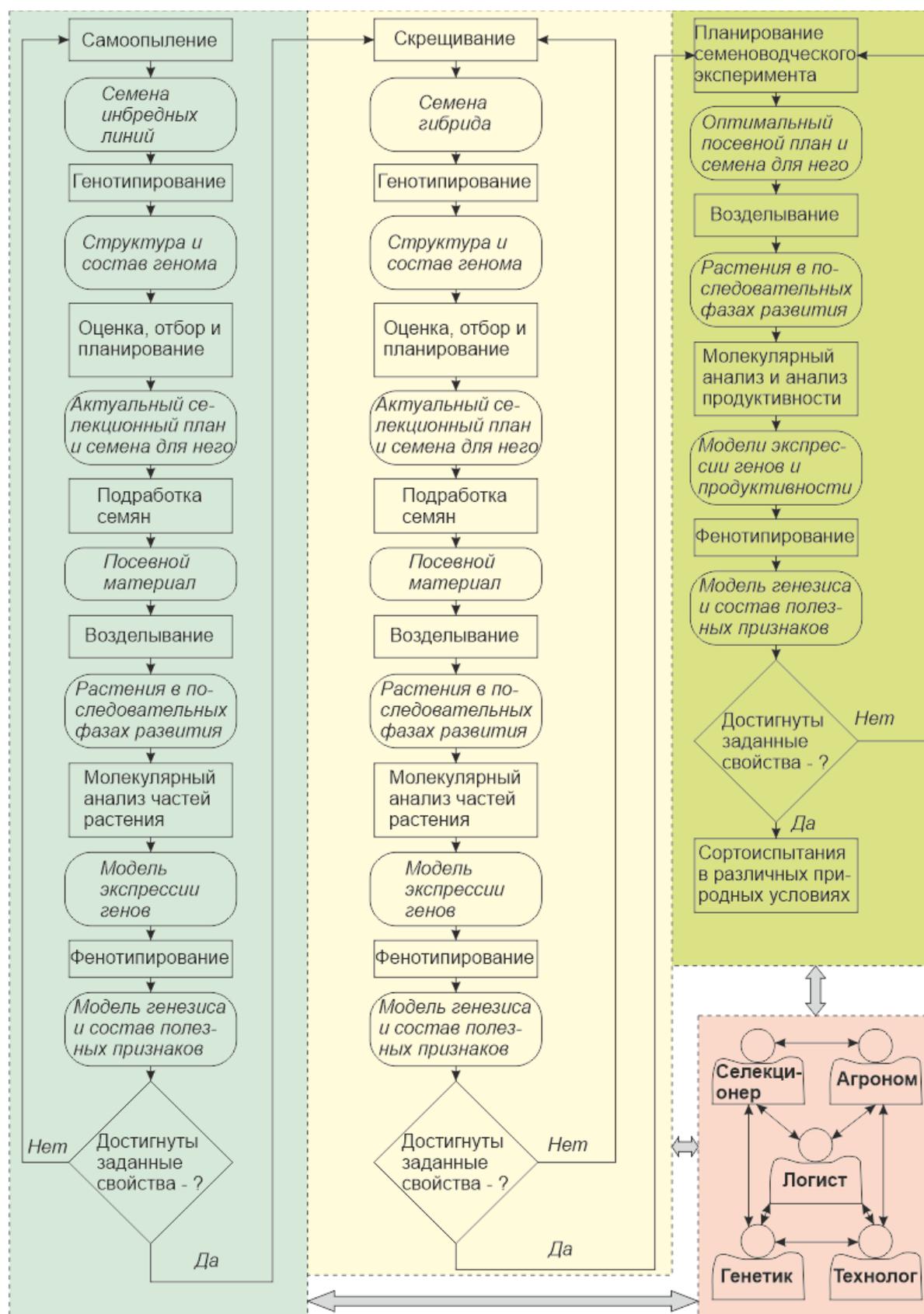


Рис. 1. Укрупненный алгоритм селекционно-семеноводческого цикла

Fig. 1. Enlarged algorithm of breeding and seed production cycle

Для решения этой проблемы необходимо построить комплексную модель, о которой говорилось выше, обеспечить ее перманентное обучение на основе потоков измеряемых гетерогенных данных, описывающих все существенные разноплановые факторы и параметры процесса гибридизации. Такая комплексная модель может быть построена на основе нескольких самообучающихся интеллектуальных агентов, которые строили бы частные модели различных процессов, описывали бы взаимодействия этих конкретных моделей между собой. Интеллектуальные агенты обучались бы на основе потоков данных, формируемых измерительными системами в режиме реального времени, что позволяло бы всей системе накапливать знания и увеличивать точность прогноза, в пределе приводя ее к значениям, обеспечивающим достоверность имитационного эксперимента, сопоставимую с экспериментом реальным.

Трудозатраты, необходимые для построения онтологий предметных областей каждой из таких частных моделей «вручную» (в стиле автоматизированной системы), настолько велики, что реализация такой системы с организационной точки зрения вряд ли возможна. Создать систему с описанным функционалом можно, на наш взгляд, только при условии ее работы в полностью автоматическом режиме.

Такая система по ряду основных классифицирующих признаков полностью соответствует т.н. системам «обволакивающего интеллекта» (Ambient Intelligence Systems). В числе таких признаков – перманентное моделирование ситуации на основе неструктурированных потоков многомодальных данных с физических и программных сенсоров, поддержка принятия решений на базе прогноза развития событий до горизонта планирования, превентивное вмешательство в протекающие процессы с целью привести с помощью доступных факторов систему «система «обволакивающего интеллекта» – среда» в желаемое состояние в будущем, выбранное на основе анализа некоторого количества проактивных сценариев развития ситуации.

Такие системы (впрочем, пока не обеспечивающие полного функционала из вышеописанного состава) в области сельского хозяйства получили название системы «умного» сельского хозяйства. В применении к задаче гибридизации их можно было бы назвать системами «умной» гибридизации.

К настоящему времени такие системы не созданы ни для задачи гибридизации, ни для других сельскохозяйственных задач. Как следует из [1], такие задачи относятся к неформальному классу AI-полных задач, для решения которых необходимо создание систем общего искусственного интеллекта.

По нашему мнению, для решения задачи «умной» гибридизации хорошо подойдет формализм для создания систем общего искусственного интеллекта – мультиагентные рекурсивные нейрокогнитивные архитектуры.

Целью настоящего исследования является разработка основных принципов создания интеллектуальных экспертных систем, обеспечивающих существенное повышение эффективности селекции и семеноводства на основе применения самообучаемых имитационных моделей и онтологий процессов предметной области.

Основной задачей работы является создание архитектуры коллаборативной человеко-машинной интеллектуальной системы на основе сообщества программных агентов, выполняющих имитационное моделирование, принятие решений и синтез кооперативного управления процессами селекции и семеноводства.

Основная фундаментальная проблема, на решение которой направлено данное исследование, состоит в формализации понимания содержания таких процессов специализированными интеллектуальными программными агентами, ответственными за имитационное моделирование различных частей этих процессов.

Основная прикладная проблема состоит в разработке модели вычислений, способной на практике обеспечить коллаборативную работу интеллектуальной экспертной системы в режиме реального времени.

Объектом исследования является процесс коллективного принятия решений в производственных и агротехнических циклах селекции и семеноводства.

Предмет исследования – возможность имитационного моделирования этого процесса вычислительной системой на основе кооперативных интеллектуальных программных агентов общего искусственного интеллекта на базе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур.

3. КОНСОРЦИУМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АГЕНТОВ

С целью достижения вышеописанного функционала, для эффективного выполнения задач имитационного моделирования, прогнозирования, перманентного обучения моделей в условиях реальной среды система интеллектуальной поддержки принятия решений в селекции и семеноводстве должна обеспечивать обработку многомодальных потоков неструктурированных данных. Как было установлено в [1], чтобы реализовать обработку неструктурированных потоков данных, система должна быть интеллектуальным агентом под управлением мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры.

Мультиагентная нейрокогнитивная архитектура представляет собой когнитивную архитектуру, в узлах которой расположены программные агенты-нейроны (агнейроны), которые являются рациональными агентами искусственной жизни (Artificial Life), выполняющих проактивный синтез поведения, направленного на максимизацию локальной функции полезности. Поведение агнейрона это - последовательность его действий, которые он выполняет с помощью своих эффекторов. Оно описывается т.н. графом проблемной ситуации, дугами которого являются эти действия, а вершинами – состояния систем «агнейрон – среда», идентифицируемые агнейроном с помощью его сенсоров. В этом описании прослеживается очевидное сходство между интеллектуальными агентами и агнейронами. Разница состоит в том, что внешней средой для интеллектуального агента является реальная среда, и сам он включает в себя много агнейронов (и в этом смысле является мультиагентным агентом). Агнейрон же, напротив, является единичным агентом, и внешней средой ему служит сам интеллектуальный агент, узлы его нейрокогнитивной архитектуры, отвечающие за выполнение разнообразных когнитивных функций, задействованных в процессе принятия решений (рис. 2). Таким образом, агнейроны в составе функциональных узлов нейрокогнитивной архитектуры вложены в состав интеллектуального агента, что весьма характерно, так как мультиагентная нейрокогнитивная архитектура, введенная в [1], является рекурсивной.

Мультиагентная рекурсивная архитектура подробно описана в указанной монографии. Здесь лишь укажем, что интеллектуальные агенты под ее управлением приобретают возможность автономно синтезировать свое проактивное поведение, направленное на переход в состояние системы «интеллектуальный агент – среда», более предпочтительное, чем текущее состояние, с точки зрения значения целевой функции интеллектуального агента. Как следует из рисунка 2, агнейроны в составе когнитивной архитектуры интеллектуального агента взаимодействуют друг с другом путем обмена сообщениями с целью синхронизации совместных действий, что обеспечивает мультиагентную самоорганизацию при движении всей системы к аттракторам, которые как раз и являются целевыми состояниями интеллектуального агента.

В силу того, что интеллектуальная обработка информации в мультиагентной нейрокогнитивной архитектуре начинается и заканчивается идентификацией состояний системы «интеллектуальный агент – среда», переход между которыми синтезируется на основе мультиагентных алгоритмов, объединенных в децентрализованном стиле агнейронами, расположенными в различных слоях этой нейрокогнитивной архитектуры, интеллектуального агента под ее управлением можно рассматривать, как агента общего искусственного интеллекта. Такой агент, в потенциале, путем обучения, настраивается на выполнение всех задач, которые необходимы для создания интеллектуальной системы поддержки принятия решений в селекции и семеноводстве.



Рис. 2. Функциональные узлы мультиагентной рекурсивной нейрокогнитивной архитектуры

Fig. 2. Functional nodes of the multi-agent recursive neurocognitive architecture

Проблема состоит в том, что, как следует из вышеизложенного и иллюстрируется рисунком 1, процессы селекции и семеноводства сложны, многообразны, распределены во времени и пространстве, связаны с работой большого количества специалистов, технических и природных систем. В таком комплексе взаимодействующих акторов и объектов порождается огромное количество неструктурированных многомодальных данных. При этом совокупный результат всей работы может критическим образом зависеть от успеха или неудачи на каком-либо конкретном участке или этапе. Строго говоря, в подобной системе к обычным «проблемам» принятия решений в условиях реальной среды, таким как стохастичность, динамичность, эпизодичность, частичная наблюдаемость, активность и т.п., добавляется еще и проблема децентрализованного и диахронического характера критически значимых параметров системы.

Объемы порождаемых данных так велики, а их пространственно-сущностно-временная иерархия так сложна, что применение интеллектуального агента на основе мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры неминуемо столкнется с вычислительными ограничениями, ставящими под вопрос применимость подхода.

Для разрешения этой проблемы считаем целесообразным интеллектуальную экспертную систему селекции и семеноводства построить на основе вычислительной архитектуры *распределенного консорциума гетерогенных интеллектуальных агентов* (рис. 3).

Такой консорциум представляет собой сообщество (коллектив) интеллектуальных агентов различных типов – людей, программных агентов, киберфизических систем (роботов, систем автоматизации), взаимодействующих друг с другом с использованием высокоуровневых интерфейсов с целью кооперативного решения целевых задач. Каждый из интеллектуальных агентов специализируется на решении одной или нескольких функциональных задач, обучаясь на основе знаний и прецедентов, стремясь превратиться в эффективный элемент системы, обеспечивающий необходимую для успеха работы всего консорциума точность моделей и прогнозов при решении этих задач.

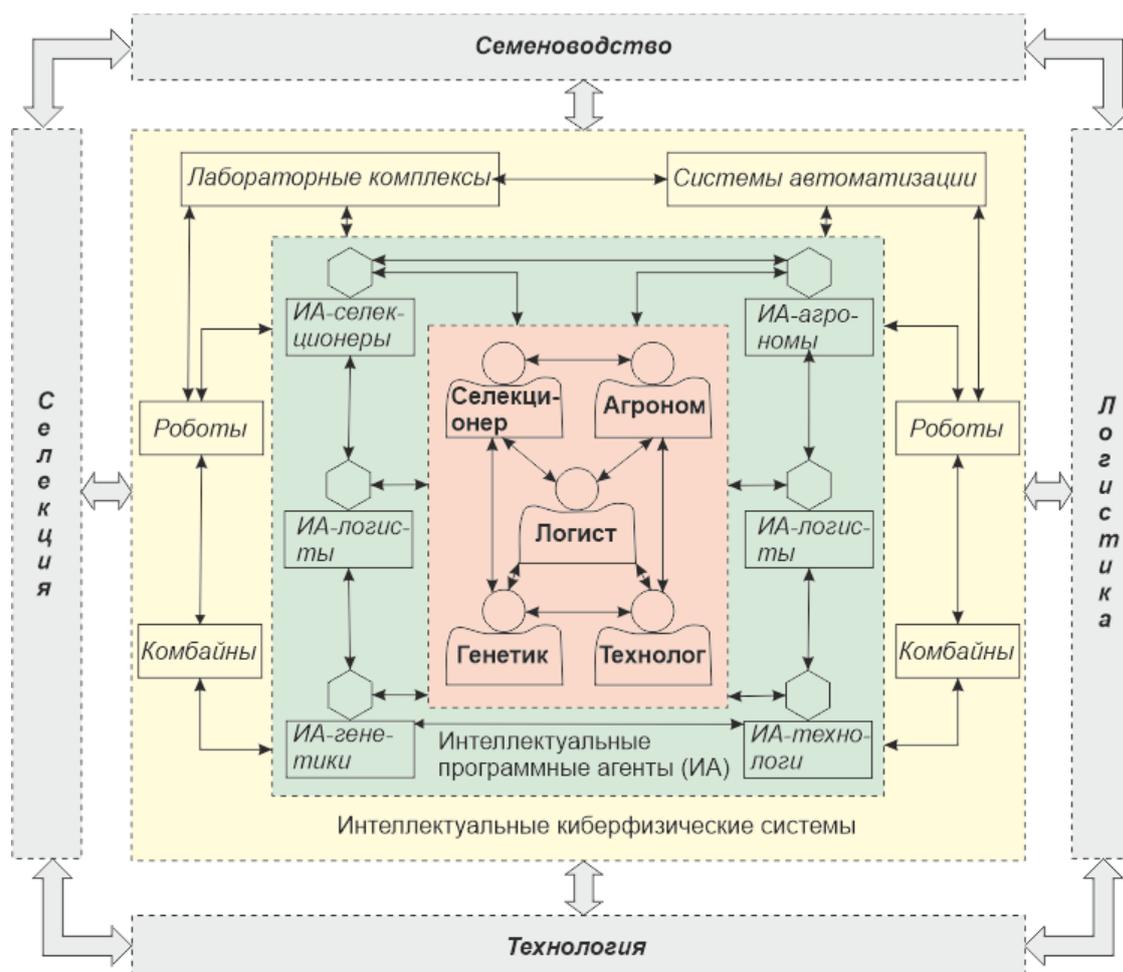


Рис. 3. Структурно-функциональная схема селекционной системы на основе консорциума интеллектуальных агентов

Fig. 3. Structural and functional scheme of the breeding system based on the consortium of intelligent agents

Такая система является децентрализованной, так как интеллектуальные агенты выполняют свою работу непосредственно на месте, синтезируя и обрабатывая потоки данных с сенсоров, настроенных на анализ процессов в заданной предметно-функциональной области.

4. КОЛЛАБОРАТИВНАЯ СЕЛЕКЦИОННАЯ СИСТЕМА

Принципиальным отличием консорциума интеллектуальных агентов, структурно-функциональная схема которого приведена на рисунке 3, от других интегрированных информационно-управляющих систем состоит в его гетерогенности. Как следует из рисунка, в его составе есть люди – селекционеры, агрономы, технологи, генетики, логисты, выполняющие постановки миссий и контроль операций, программные агенты, обеспечивающие принятие решений, синтез и накопление знаний, и киберфизические системы, применение которых направлено на обеспечение возможности непосредственного воздействия на физические процессы.

Консорциум является открытой системой, его вычислительная архитектура базируется на распределенной модели вычислений, применении разнообразных каналов связи и сетевых протоколов.

Ключевой характеристикой такого консорциума является кооперация входящих в него интеллектуальных агентов на основе общих онтологий и моделей семантики коммуника-

ции. Для достижения такой общности как раз и необходимы мультиагентные нейрокогнитивные архитектуры, как формализм, обеспечивающий единообразную вычислительную абстракцию общего искусственного интеллекта, применимую для описания состояний «человек – среда», «программный агент – среда», «робот – среда». Общий онтологический базис и семантика коммуникативных инструментов обеспечивают возможности синтеза согласованного целенаправленного поведения гетерогенного по своему составу консорциума интеллектуальных агентов.

Принципиальное значение для обеспечения эффективности работы столь сложной системы имеет способность интеллектуальных агентов на основе мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры к самообучению. Эта способность обеспечивается алгоритмами направленного ситуативно детерминированного роста аксо-дендрональных связей между агентами-нейронами в составе когнитивной архитектуры. На рисунке 4 приведена структурно-функциональная схема алгоритма обучения управляющей мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры на основе рассогласования прогноза и результата выполнения цикла селекции и семеноводства.

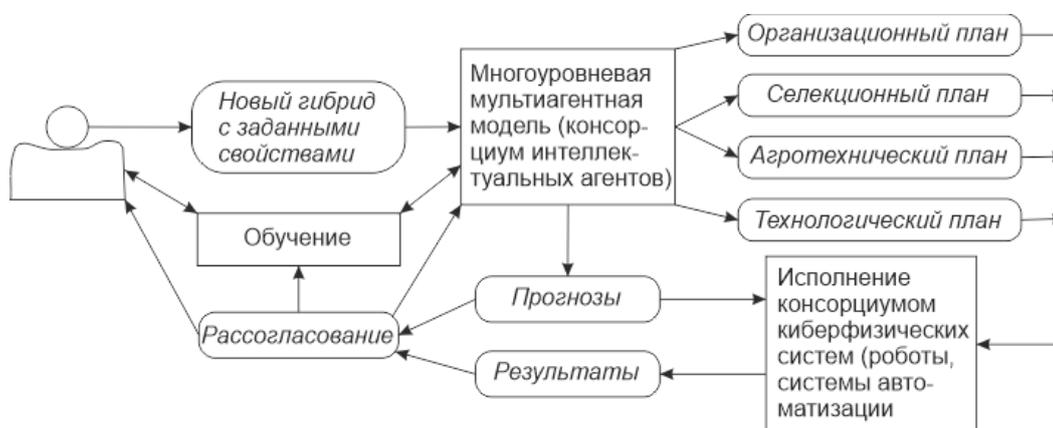


Рис. 4. Алгоритм обучения селекционной системы на основе консорциума интеллектуальных агентов

Fig. Algorithm for training a breeding system based on a consortium of intelligent agents

Наличие рассогласования благодаря коллаборативному взаимодействию между интеллектуальными агентами в составе консорциума проявляется и идентифицируется непосредственно «по месту и времени» наступления. Таким образом, наличие локальных рассогласований определяется локальными же интеллектуальными агентами, что позволяет сразу же выделить части процесса, требующие корректировки. Такая корректировка осуществляется на основе мультиагентного обучения либо в супервизорном режиме при непосредственном участии специалистов, либо в автоматическом режиме – на основе самоорганизации нейрокогнитивной архитектуры при ее движении к аттракторам, интерпретируемым в терминах новых знаний, позволяющих в будущем добиться отсутствия рассогласования между прогнозом и результатом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана архитектура человеко-машинной интеллектуальной системы на основе консорциума интеллектуальных программных и киберфизических агентов, выполняющих имитационное моделирование, принятие решений и синтез кооперативного управления процессами селекции и семеноводства. Этот подход направлен на решение прикладной проблемы

разработки модели вычислений, способной на практике обеспечить коллаборативную работу интеллектуальной экспертной системы в режиме реального времени. Такая вычислительная архитектура составит основу интегрированной кооперативной системы принятия решений специализированными интеллектуальными программными агентами и роботами, ответственными за имитационное моделирование различных частей селекционно-семеноводческого процесса.

Понимание содержательного смысла и коллективное принятие решений в производственных и агротехнических циклах селекции и семеноводства в такой вычислительной архитектуре будут обеспечиваться работой кооперативных интеллектуальных программных агентов общего искусственного интеллекта на базе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур.

Разработанная вычислительная архитектура распределенного консорциума гетерогенных интеллектуальных агентов может быть применена для создания интеллектуальных экспертных систем, обеспечивающих существенное повышение эффективности селекции и семеноводства на основе применения самообучаемых мультиагентных нейрокогнитивных систем управления процессами точной селекции и семеноводства.

REFERENCES

1. Nagoev Z.V. *Intellektika, ili myshleniye v zhivykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intelligence, or thinking in living and artificial systems]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2013. 232 p.

Нагоев З. В. Интеллектика, или Мышление в живых и искусственных системах. Нальчик, Издательство КБНЦ РАН, 2013. 232 с.

2. Stuart Russell, Peter Norvig. *Iskusstvennyy intellekt: sovremennyy podkhod (AIMA)* [Artificial Intelligence: A Modern Approach (AIMA)] = Artificial Intelligence: A Modern Approach (AIMA). 2nd ed. Moscow: Williams, 2007. 1424 p.

Стюарт Рассел, Питер Норвиг. Искусственный интеллект: современный подход (AIMA) = Artificial Intelligence: A Modern Approach (AIMA). 2-е изд. Москва: Вильямс, 2007. 1424 с.

3. Nesa Rani P. Mercy, Rajesh T., Saravanan R. Expert Systems in Agriculture: A Review. *Journal of Computer Science and Applications*. Vol. 3. No. 1(2011). Pp. 59–71.

4. <https://www.iasri.icar.gov.in/annual-reports/>

5. <https://www.3blmedia.com/news/new-technologies-driving-future-plant-breeding>

6. <https://www.agriexpo.ru>

7. <https://www.agronomix.com/genovix/>

8. <https://www.bmspro.io>

9. <https://www.kubnews.ru>

10. <https://msutoday.msu.edu/news/2021/decoding-crop-genetics-with-artificial-intelligence>

11. <https://www.nih.gov> MBP (version 1.0): a software package to optimize maize breeding procedures based on doubled haploid lines

12. Yadav V.K., Sudeep Marwaha, Sangit Kumar, Kumar P., Jyoti Kaul, Parihar C.M. and Supriya P. Maize AGRIdaksh: A Farmer Friendly Device. *Indian Res. J. Ext. Edu.* 12 (3), September, 2012.

13. Yunbi Xu, Xingping Zhang, Huihui Li, Hongjian Zheng, Jianan Zhang, Michael S. Olsen, Rajeev K. Varshney, Boddupalli M. Prasanna, Qian Qian. Smart breeding driven by big data, artificial intelligence, and integrated genomic-enviromic prediction, *Molecular Plant*. Vol. 15. No. 11, 2022. Pp. 1664–1695. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2022.09.001>.

14. Jun Yan, Xiangfeng Wang. Machine learning bridges omics sciences and plant breeding, *Trends in Plant Science*, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.08.018>.

Информация об авторах

Анчёков Мурат Инусович, науч. сотр. лаборатории «Молекулярная селекция и биотехнология», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224;

murat.antchok@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8977-797X>

Боготова Залина Ихсановна, канд. биол. наук, зав. лабораторией «Молекулярная селекция и биотехнология», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224;

zalina_bogotova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9123-224X>

Пшенокова Инна Ауесовна, канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. лаборатории «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360002, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2;

pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3394-7682>

Нагоев Залимхан Вячеславович, канд. техн. наук, генеральный директор Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

zaliman@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9549-1823>

Шомахов Беслан Рашидович, ст. науч. сотр., зав. лаб. «Селекция и семеноводство позднеспелой кукурузы», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Кирова, 224;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0248-2619>

Information about the authors

Anchekov Murat Inusovich, staff scientist of the laboratory «Molecular selection and biotechnology», Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, KBR, Nalchik, 224 Kirova street;

murat.antchok@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8977-797X>

Bogotova Zalina Ikhsanovna, Candidate of Biological Sciences, Head of the laboratory "Molecular selection and biotechnology" of KBSC of the Russian Academy of Sciences.

360000, KBR, Nalchik, 224 Kirova street;

zalina_bogotova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9123-224X>

Pshenokova Inna Auesovna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher laboratory «Neurocognitive autonomous intelligent systems», Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360002, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3394-7682>

Nagoev Zalikhan Vyacheslavovich, Candidate of Technical Sciences, General Director of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;

zaliman@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9549-1823>

Shomakhov Beslan Rashidovich, Senior Researcher, Head of the laboratory "Breeding and seed production of late-ripening corn", Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360004, Russia, Nalchik, 224 Kirov street;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0248-2619>

Постройка ПИД-регулятора с использованием нейронных сетей

Р. А. Жилов

Институт прикладной математики и автоматизации –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, Нальчик, ул. Шортанова, 89 А

Аннотация. В работе рассматривается применение нейронных сетей для настройки ПИД-регулятора. Необходимость использования методов машинного обучения для настройки регуляторов проистекает из сложности и длительности такой настройки человеком. Под каждый объект управления специалисту приходится настраивать коэффициенты ПИД-регулятора, а в динамических системах еще и перенастраивать их. Также в работе предполагается использование гибридных систем нейрорегулирования и гибридных нейронных сетей для имитации работы самого ПИД-регулятора. Рекуррентные нейронные сети – это мощный класс моделей, которые хорошо подходят для моделирования нелинейных систем. Одним из основных применений таких нейронных сетей является система управления. Достаточно хорошо обученная рекуррентная нейронная сеть может имитировать работу ПИД-регулятора. Преимуществами такого рода регулятора являются более четкое обучение в условиях лишь достаточно полной обучающей выборки и необязательность дальнейшей подстройки экспертом. Также замена системы ПИД-регулятор и нейромодуль на гибридную нейронную сеть, выполняющую полную работу данной системы, упрощает ее.

Ключевые слова: гибридные нейронные сети, ПИД-регулятор, нейрорегулирование, рекуррентные нейронные сети

Поступила 27.09.2022, одобрена после рецензирования 04.10.2022, принята к публикации 11.10.2022

Для цитирования. Жилов Р. А. Постройка ПИД-регулятора с использованием нейронных сетей // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 38–47. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-38-47

MSC: 68T27

Original article

Building a PID controller using neural networks

R.A. Zhilov

Institute of Applied Mathematics and Automation –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360000, Russia, Nalchik, 89 A Shortanov street

Abstract. The paper considers the use of neural networks to tune the PID controller. The need to use machine learning methods for tuning regulators stems from the complexity and duration of such tuning by a human. For each control object, a specialist has to adjust the PID controller coefficients, and in dynamic systems, they also have to be reconfigured. Also, the work assumes the use of hybrid neurocontrol systems and hybrid neural networks to simulate the operation of the PID controller itself. Recurrent neural networks are a powerful class of models that are well suited for modeling non-linear systems. One of the main applications of such neural networks is the control system. A sufficiently well trained recurrent neural network can simulate the operation of a PID controller. The advantage of this kind of controller is more accurate learning in conditions of only a fairly complete training set and the need for further adjustment by an expert. Also, replacing the PID controller system and the neuromodule with a hybrid neural network that performs the full work of this system simplifies it.

Key words: hybrid neural networks, PID controller, neurocontrol, recurrent neural networks

Submitted 27.09.2022,

approved after reviewing 04.10.2022,

accepted for publication 11.10.2022

For citation. Zhilov R.A. Building a PID controller using neural networks. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 5 (109). Pp. 38–47. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-38-47

ВВЕДЕНИЕ

Искусственные нейронные сети (ИНС) в современном мире применяются в огромном количестве областей задач. Сегодня важным становится использование ИНС в задачах автоматического управления различных типов [1–4].

Однако надо отметить, что использование нейронных сетей для решения задач автоматического управления исследовано мало.

Залогом того, что ПИД-регуляторы стали активно использоваться в управленческих задачах, явились простота их конструкции, несложный математический аппарат и небольшая цена.

Первыми регуляторами, получившими широкое распространение, были регуляторы прямого действия. Благодаря исключительной простоте конструкции и безотказности в работе регуляторы прямого действия до сих пор очень широко применяются для регулирования угловой скорости вращающихся частей машин, уровня жидкостей в различных емкостях и давления газа в газопроводах и газохранилищах.

Такие регуляторы являются статическими. Если такой регулятор отсоединить от регулирующего органа и изменить значение подводимого к нему регулируемого параметра, то будет меняться и равновесное положение исполнительного устройства, отсоединенного от регулирующего органа.

При таких регуляторах неизбежна статистическая ошибка. При разных нагрузках на регулируемый объект равновесие достигается при разных значениях регулируемого параметра. Для получения автоматического прямого регулирования надо так выполнить регулятор, чтобы его чувствительный элемент находился в безразличном равновесии при каком-либо вполне определенном значении регулируемого параметра, не имея равновесий при иных значениях параметра.

В статических регуляторах прямого действия каждому положению «стрелки» чувствительного элемента однозначно соответствует вполне определенное положение регулирующего органа. В отличие от них в астатических регуляторах положение «стрелки» чувствительного элемента определяет не положение регулирующего органа, а скорость перемещения его.

Введение усилителей позволяет применять высококачественные измерительные устройства с малыми движущимися массами, развивающие малые усилия. Но при этом введение астатического усилителя ликвидирует однозначную связь между положением «стрелки» чувствительного элемента и регулирующего органа, а это способствует нарушению устойчивости.

Сохранить усилитель и при этом восстановить однозначное соответствие между положением регулирующего элемента и «стрелкой» чувствительного элемента позволило изобретение обратной связи. С этим изобретением, по существу, связано появление современной техники регулирования.

ПИД-регулятором называется устройство, которое применяется при решении задач управления и которое имеет звено обратной связи. Такие регуляторы применяются для создания сигнала управления в автоматических системах.

Выходным сигналом управления ПИД-регулятора является сумма трех составляющих: первая пропорциональна величине сигнала рассогласования, вторая – интегралу сигнала рассогласования, третья – его производной. Если какой-то из этих трех компонентов не включен в процесс сложения, то регулятор будет уже не ПИД, а просто пропорциональным, пропорционально-дифференцирующим или пропорционально-интегрирующим.

Основная формула для настройки регулятора выглядит следующим образом:

$$u(t) = K_p \left(e(t) + K_{ip} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_{dp} \frac{de}{dt} \right).$$

Независимо от того, что ПИД-регуляторы сильно распространены, нет определенного метода для подбора коэффициентов. Когда мы моделируем работу регулятора с объектом управления, мы часто не учитываем особенности реальных условий. Также для каждой конкретной задачи управления необходимо подбирать свои коэффициенты к регулятору.

Реально работающие ПИД-регуляторы всегда имеют ограничение рабочего диапазона снизу и сверху, это принципиально объясняет их нелинейность. Настройка поэтому практически всегда и везде производится экспериментальным путем, когда объект управления подключен к системе управления.

Использование ИНС в ПИД-регуляторах бывает для построения самого регулятора и для построения блока настройки его коэффициентов. Преимуществом ИНС является то, что они могут обучаться. Регулятор с использованием ИНС идентичен регулятору с табличным управлением, но различаются методы настройки («обучения»).

Все вышесказанное говорит о том, что исследования в данной области являются актуальными и необходимыми.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫМИ НЕЙРОННЫМИ СЕТЯМИ

Важной задачей применения ИНС являются системы автоматического управления (АУ). Существует уже достаточно много методов управления с применением ИНС. Эти методы называют методами нейроуправления. Наиболее распространенные методы нейросетевого управления: подражающее управление, инверсное нейроуправление, прогнозирующее модельное нейроуправление, многомодульное нейроуправление и гибридное нейроуправление [5–11].

Системы АУ классифицируются по различным признакам:

1. По характеру изменения выходной величины:

- системы автоматического регулирования (САР, стабилизации) – системы, в которых выходная величина поддерживается на постоянном уровне, определенном заранее;
- следящие системы – это системы, в которых выходная величина изменяется в соответствии с заранее неизвестной функцией, определяемой заданием;
- программные системы – это системы, в которых выходная величина изменяется в соответствии с программой, определяемой заданием;
- экстремальные системы – это системы, в которых выходная величина поддерживается на уровне некоторого экстремума;
- оптимальные системы – это системы, в которых выход таков, что некоторый показатель наилучший в определенном смысле.

2. По принципу управления:

- системы с управлением по отклонению – системы, в которых управляющее воздействие вырабатывается в функции разности задающего и возмущающего воздействия. Этот принцип используется в замкнутых системах управления;

- системы с управлением по возмущению – системы, в которых управляющее воздействие вырабатывается в функции задающего или возмущающего воздействия. Этот принцип управления чаще всего используется в разомкнутых системах;

- системы с комбинированным управлением – системы, в которых сочетается первый и второй принципы управления.

По характеру изменения сигналов: непрерывные, дискретные.

По числу регулируемых величин: одномерные, многомерные.

Существующие методы настройки коэффициентов ПИД-регулятора разделяются на точные и приближенные. Точные – это методы, которые пользуются математическим аппаратом для вычисления коэффициентов. Приближенные – это методы, которые используют для вычисления коэффициентов эмпирические формулы. Точные методы можно условно разделить на поисковые и беспойсковые. Поисковые методы проводят итерационный поиск оптимума. Беспойсковые аппроксимируют имеющиеся зависимости между входом и выходом [12].

Одним из возможных методов решения задач интеллектуального управления исследователи выделяют аппарат нейронных сетей ввиду того, что нейронные сети нелинейны и способны обучаться. Применение ИНС добавляет возможность адаптивности системам управления. Одной из таких систем является предложенная Сигеру Омату схема нейросетевой настройки ПИД-регулятора. Преимущество такого решения – надстроечная система адаптации. Это неплохо облегчает внедрение в существующие контуры управления с учетом нелинейности ОУ.

Кратко рассмотрим наиболее распространенные методы нейросетевого управления [13–20].

Подражающее нейроуправление. Основным компонентом такого нейроуправления будет нейронная сеть, которая обучена по принципу обучения с учителем, где учителем является эталонный регулятор. Обучающая выборка подбирается из значения регулятора, который уже работает. Такое нейроуправление является одним из самых простых. Большой недостаток – это требование уже настроенного регулятора для обучения. Также такой регулятор не сможет работать лучше эталонного регулятора.

Инверсное нейроуправление. Этот метод подразумевает обучение НС на основе данных, полученных с объекта управления. В качестве входного сигнала объекта управления и выходного значения обучающей выборки для нейронной сети используется некоторый случайный процесс. Основным недостатком такого нейроуправления – это сложность в составлении обучающей выборки. Достоинством метода является отсутствие необходимости в математической модели объекта.

Прогнозирующее модельное нейроуправление. Данный метод основан на минимизации функционала стоимости интегральной ошибки, которая вычисляется на несколько тактов вперед. Минусом данного метода является невозможность его применения в системах с высокой частотой дискретизации, т.к. оптимизационный алгоритм за один такт не будет успевать находить оптимальное управляющее воздействие.

Многомодульное нейроуправление на основе пар прямых и инверсных моделей. Многомодульные нейросистемы построены по принципу комитетов экспертов, т.е. состоят из отдельных модулей, каждый из которых решает свою отдельную подзадачу в общей задаче. Итоговое управляющее воздействие складывается из совокупности управляющих значений отдельных модулей.

Гибридное нейроуправление. Данное нейроуправление предполагает использовать одновременно нейросетевые регуляторы и стандартные регуляторы.

Учитывая все вышесказанное, надо отметить, что нейроуправление развивается особенно быстро, так как появляются все время задачи автоматизации управления.

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ГИБРИДНЫМИ НЕЙРОННЫМИ СЕТЯМИ

Применение АУ в системах для получения корректного выходного сигнала обусловлено необходимостью получить высокую точность и качество переходного процесса. Точность и качество переходного процесса определяют по тому, как быстро система выйдет в стационарный режим работы и будет ли большим перерегулирование. Все это дает качество итогового продукта [21].

Нейронные сети могут использоваться как для создания самого регулятора, так и для создания блока настройки, который и определяет коэффициенты регулятора.

Для постройки регулятора, в котором используется НС, для подбора его коэффициентов не требуется формулировать четкие правила, достаточно, чтобы человек определенное количество раз настроил регулятор в процессе обучения нейросети.

Благодаря тому, что НС имеет много настраиваемых коэффициентов и нелинейную функцию активации нейронов, НС может очень точно выполнить отображение входных сигналов в выходные.

Важное значение при создании подобного регулятора имеет процедура обучения. В определении неизвестных параметров и заключается обучение. Для обучения нейросети обычно используют алгоритмы градиентного поиска минимума критериальной функции $\varepsilon = (u^* - u)^2$, которая зависит от параметров нейронов.

Процесс поиска является итерационным, где на каждой итерации находят все коэффициенты сети, сначала для выходного слоя нейронов, затем предыдущего и так до первого слоя (метод обратного распространения ошибки). Также можно использовать генетические алгоритмы, метод моделирования отжига, метод наименьших квадратов.

Когда используется замкнутая система автоматического регулирования, эксперт находит параметры регулятора для разных входных воздействий. Естественно, при этом эксперт должен обладать необходимыми навыками. При этом в настраиваемой системе временные данные переменных хранятся в памяти и потом отправляются на нейронную сеть, которая подключена к ПИД-регулятору.

НС настраивается таким образом, чтобы была минимальной ошибка между тем, что получается при участии эксперта, и тем, что выдает НС. После обучения все параметры НС сохраняются в блоке управления. Полученная в итоге нейросеть должна работать по меньшей мере так же, как и человек, с учетом работы в условиях, которые не входили в обучающий процесс.

Построение регулятора с использованием НС может стать более качественной заменой ПИД-регуляторов с нейроуправлением. Использование нейромодуля для настройки коэффициентов ПИД-регулятора требует обучения данного регулятора высококлассным специалистом, так как приходится тонко подстраивать нейронную сеть «руками». В идеале необходимо добиться полной автоматизации процесса регулирования, включая и процесс настройки ПИД-регулятора.

Для того чтобы добиться полной автоматизации процесса регулирования, необходимо применение нейронной сети не как модуля настройки коэффициентов, а как полноценного регулятора. Для постройки такого регулятора наиболее подходящими являются рекуррентные нейронные сети. Так, в процессе регулирования система должна учитывать не только нынешнее состояние, то есть отклонение от требуемого значения на данной итерации, но и иметь память о тех же отклонениях на нескольких предыдущих этапах.

Важное свойство рекуррентных нейронных сетей NARX, описываемых моделью в пространстве состояний, – то, что они могут аппроксимировать большой класс нелинейных

динамических систем. Однако эта аппроксимация достоверна только на компактных подмножествах состояний пространства и на конечных интервалах времени и не отражает некоторые интересные динамические характеристики.

Теперь обратимся к вопросу обучения рекуррентных нейронных сетей. К задаче обучения нейронной сети модели NARX относятся трудности с настройкой весов нейронов, которые могут быть реализованы с помощью специального алгоритма. Данный алгоритм обучения называется обобщенным дельтаправилем, или правилом обратного распространения ошибки. Алгоритм обратного распространения ошибки обучает нейронную сеть, вычисляя целевую функцию ошибки для сигнального входа с дальнейшим ее обратным распространением от каждого последующего слоя к предыдущему.

По методу наименьших квадратов, целевая функция НС, которая сводится к минимуму $E(w)$, записывается следующим образом:

$$E(w) = 1/2 \sum_{j=1}^N e_j^2(k),$$

где j – индекс выходного нейрона; $e_j(k)$ – сигнал ошибки между желаемым значением выходного нейрона j и его реальным значением на итерации k .

Суммирование осуществляется по всем нейронам выходного слоя и по всем обрабатываемым сетью образам. Минимизация функции производится методом градиентного спуска:

$$\Delta w_{ji}^N(k) = -\eta \frac{\partial E(w)}{\partial w_{ji}(k)}.$$

Здесь $\Delta w_{ji}^N(k)$ – подстройка весового коэффициента синаптической связи, соединяющий нейрон i в слое $(n - 1)$ с нейроном j в слое n на итерации k ; $\frac{\partial E(w)}{\partial w_{ji}(k)}$ – вектор частных производных целевой функции $E(w)$ по свободным параметрам сети; $0 < \eta < 1$ – параметр скорости обучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рекуррентные нейронные сети – это мощный класс моделей, которые хорошо подходят для моделирования нелинейных систем. Одним из основных применений таких нейронных сетей является система управления. Для постройки регулятора возможно использовать наиболее простые архитектурные нейронные сети с обратными связями. Такая модель может иметь один вход, применяющийся к памяти на линиях задержки, и один выход, замкнутый на вход на линиях задержки. Содержимое этих двух блоков памяти используется в дополнение входного слоя перцептрона. Такая структура учитывает состояние объекта управления на предыдущем шаге.

Кроме того, добавление обратных связей позволяет использовать описание рекуррентных нейронных сетей в виде множества состояний, что делает их удобными устройствами в нелинейном программировании и моделировании. Обучение же рекуррентных нейронных сетей можно производить, используя обобщенное дельта правило или правило обратного распространения ошибки.

Достаточно хорошо обученная рекуррентная нейронная сеть может имитировать работу ПИД-регулятора. Преимуществом такого рода регулятора является более четкое обучение в

условиях лишь достаточно полной обучающей выборки и необязательность дальнейшей подстройки экспертом. Также замена системы ПИД-регулятор и нейромодуль на гибридную нейронную сеть, выполняющую полную работу данной системы, упрощает ее. Имея достаточно полную обучающую выборку, возможно добиться от нейронной сети точности и гибкости управления. Недостатком такой модели является сложность подбора необходимой обучающей выборки в достаточно большом объеме и не содержащей в себе противоречия. Также к недостаткам можно отнести и достаточно «долгий» процесс обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Осовский С.* Нейронные сети для обработки информации. Москва: Финансы и статистика, 2016.
2. *Омату С., Халид М., Юсоф Р.* Нейроуправление и его приложения. Нейрокомпьютеры и их применение. Москва: Радиотехника, 2017.
3. *Жучков А. А.* Применение нейросетей для реализации типовых задач АСУТП ядерных реакторов с привлечением критериев снижения рисков // Труды VIII Всероссийской конференции «Нейрокомпьютеры и их применение» с международным участием НКП-2002. Москва, 2012. С. 592–593.
4. *Елисеев В. Л., Филаретов Г. Ф.* Программный пакет для моделирования и обучения методам нейросетевого управления // Открытое образование. 2011. № 2(86). Ч. 2. С. 98–101.
5. *Елисеев В. Л.* Методика построения обучающей выборки при нейросетевой идентификации в условиях стохастических сигналов // Труды XXXVII международной конференции «Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе». Алушта. 2010.
6. *Елисеев В. Л.* Нейросетевой аналог ПИД регулятора при управлении нелинейным объектом // Труды XVI всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях». Рязань. 2011. С. 199–201.
7. *Елисеев В. Л., Зенкевич С. Л.* Метод нейросетевого оптимального управления // Труды Девятой всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности». Т. 5. Санкт-Петербург, 2016. С. 251–256.
8. *Елисеев В. Л., Филаретов Г. Ф.* Моделирование ПИД-контроллера с помощью искусственной нейронной сети // Перспективные технологии автоматизации. Вологда. 1999. С. 108.
9. *Елисеев В. Л., Филаретов Г. Ф.* Особенности настройки нейросетевого регулятора в контуре управления // Труды XV международного научно-технического семинара «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации». Алушта. 2016. С. 155.
10. *Елисеев В. Л., Филаретов Г. Ф.* Методика синтеза нейросетевой системы управления нестационарным объектом // Вестник МЭИ. 2010. № 3. С. 100–106.
11. *Еремин Д. М.* Разработка и исследование нейросетевого регулятора для систем автоматизированного управления: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. 1995. 23 с.
12. *Острем К. Ю.* Введение в стохастическую теорию управления. Москва: Мир, 1973.
13. *M. Al-Amin, Islam M.S.* Design of an Intelligent Temperature Controller of Furnace System using the Fuzzy Self-tuning PID Controller // 2021 International Conference on Electronics, Communications and Information Technology (ICECIT), 2021. Pp. 1–4. DOI: 10.1109/ICECIT54077.2021.9641467.

14. *Mahmud M., Motakabber S.-M. A., Zahirul Alam H. M., Nordin A. N.* Adaptive PID Controller Using for Speed Control of the BLDC Motor // *2020 IEEE International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE)*, 2020. Pp. 168–171. DOI: 10.1109/ICSE49846.2020.9166883.
15. *Wang T., Chang C.* Hybrid Fuzzy PID Controller Design for a Mobile Robot // *2018 IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI)*, 2018. Pp. 650–653. DOI: 10.1109/ICASI.2018.8394340.
16. *Mohamad Ali Tousi S., Mostafanasab A., Teshnehlab M.* Design of Self Tuning PID Controller Based on Competitional PSO // *2020 4th Conference on Swarm Intelligence and Evolutionary Computation (CSIEC)*, 2020. Pp. 022–026. DOI: 10.1109/CSIEC49655.2020.9237318.
17. *Merayo N. [et al.]* PID controller based on a self-adaptive neural network to ensure qos bandwidth requirements in passive optical networks // *Journal of Optical Communications and Networking*. Vol. 9. No. 5. Pp. 433–445. May 2017. DOI: 10.1364/JOCN.9.000433.
18. *Belov M. P., Truong D. D., P. van Tuan* Self-Tuning PID Controller Using a Neural Network for Nonlinear Exoskeleton System // *2021 II International Conference on Neural Networks and Neurotechnologies (NeuroNT)*, 2021. Pp. 6–9. DOI: 10.1109/NeuroNT 53022.2021.9472852.
19. *Wang R., Zhou Z., Qu G.* Fuzzy Neural Network PID Control Based on RBF Neural Network for Variable Configuration Spacecraft // *2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*, 2018. Pp. 1203–1207. DOI: 10.1109/IAEAC.2018.8577860.
20. *Ahmed A. A., Saleh Alshandoli A. F.* On replacing a PID controller with Neural Network controller for Segway // *2020 International Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, 2020. Pp. 1–4. DOI: 10.1109/ICEE49691.2020.9249811.

Информация об авторе

Жилов Руслан Альбердович, мл. науч. сотр. отдела нейроинформатики и машинного обучения, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;
360000, Россия, Нальчик, ул. Шортанова, 89 А;
zhilov91@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3552-4854>

REFERENCES

1. Osovsky S. *Neyronnyye seti dlya obrabotki informatsii* [Neural networks for information processing]. Moscow: Finansy i statistika, 2016. (In Russian)
2. Omatu S., Khalid M., Yusof R. *Neyroupravleniye i yego prilozheniya. Neyrokomp'yutery i ikh primeneniye* [Neurofeedback and its applications. Neurocomputers and their applications]. Moscow: Radiotekhnika, 2017. (In Russian)
3. Zhuchkov A.A. The use of neural networks for the implementation of typical tasks of process control systems for nuclear reactors with the involvement of risk reduction criteria. *Trudy VIII vserossiyskoy konferentsii "Neyrokomp'yutery i ikh primeneniye" s mezhdunarodnym uchastiyem NKP-2002* [Proceedings of the VIII All-Russian Conference "Neurocomputers and their application" with international participation NKP-2002]. Moscow. 2012. Pp. 592–593. (In Russian)

4. Eliseev V.L. Methodology for constructing a training sample for neural network identification under conditions of stochastic signals. *Trudy XXXVII mezhdunarodnoy konferentsii "Informatsionnyye tekhnologii v nauke, obrazovanii, telekommunikatsii i biznese"* [Proceedings of the XXXVII International Conference "Information Technologies in Science, Education, Telecommunications and Business"]. Alushta. 2010. (In Russian)
5. Eliseev V.L. Neural network analogue of PID controller for controlling a non-linear object. *Trudy XVI vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, molodykh uchenykh i spetsialistov "Novyye informatsionnyye tekhnologii v nauchnykh issledovaniyakh"* [Proceedings of the XVI All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Young Scientists and Specialists "New Information Technologies in Scientific Research"]. Ryazan. 2011. Pp. 199–201. (In Russian)
6. Eliseev V.L., Zenkevich S.L. Method of neural network optimal control. *Trudy Devyatoy vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Aktual'nyye problemy zashchity i bezopasnosti"* [Proceedings of the Ninth All-Russian Scientific and Practical Conference "Actual Problems of Protection and Security"]. Vol. 5. St. Petersburg. 2016. Pp. 251–256. (In Russian)
7. Eliseev V.L., Filaretov G.F. *Modelirovaniye PID-kontrollera s pomoshch'yu iskusstvennoy neyronnoy seti* [Modeling a PID controller using an artificial neural network]. *Perspektivnyye tekhnologii avtomatizatsii*. Vologda. 1999. P. 108. (In Russian)
8. Eliseev V.L., Filaretov G.F. Features of tuning a neural network controller in the control loop. *Trudy XV mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo seminara "Sovremennyye tekhnologii v zadachakh upravleniya, avtomatiki i obrabotki informatsii"* [Proceedings of the XV International Scientific and Technical Seminar "Modern Technologies in Control, Automation and Information Processing Problems"]. Alushta: 2016. P. 155. (In Russian)
9. Eliseev V.L., Filaretov G.F. Method of synthesis of a neural network control system for a non-stationary object. *Vestnik MEI /MPEI Bulletin*. 2010. No. 3. Pp. 100–106. (In Russian)
10. Eliseev V.L., Filaretov G.F. Software package for modeling and teaching methods of neural network control. *Otkrytoye obrazovaniye* [Open Education]. 2011. No. 2(86). Part 2. Pp. 98–101. (In Russian)
11. Ostrem K.Yu. *Vvedeniye v stokhasticheskuyu teoriyu upravleniya* [Introduction to Stochastic Control Theory]. Moscow: Mir, 1973. (In Russian)
12. Eremin D.M. *Razrabotka i issledovaniye neyrosetevogo regulatora dlya sistem avtomatizirovannogo upravleniya* [Development and research of a neural network controller for automated control systems]: Ph.D. Dissertation Summary. 1995. 23 p. (In Russian)
13. M. Al-Amin, M.S. Islam Design of an Intelligent Temperature Controller of Furnace System using the Fuzzy Self-tuning PID Controller. *International Conference on Electronics, Communications and Information Technology (ICECIT)*, 2021. Pp. 1–4. DOI: 10.1109/ICECIT54077.2021.9641467.
14. Mahmud M., Motakabber S.-M.A., Zahirul Alam H.M., Nordin A.N. Adaptive PID Controller Using for Speed Control of the BLDC Motor. *IEEE International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE)*, 2020. Pp. 168–171. DOI: 10.1109/ICSE49846.2020.9166883.
15. Wang T., Chang C. Hybrid Fuzzy PID Controller Design for a Mobile Robot. *IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI)*, 2018. Pp. 650–653. DOI: 10.1109/ICASI.2018.8394340.
16. Mohamad Ali Tousi S., Mostafanasab A., Teshnehlab M. Design of Self Tuning PID Controller Based on Competitional PSO. *4th Conference on Swarm Intelligence and Evolutionary Computation (CSIEC)*, 2020. Pp. 22–26. DOI: 10.1109/CSIEC49655.2020.9237318.

17. Merayo N. [et al.] PID controller based on a self-adaptive neural network to ensure qos bandwidth requirements in passive optical networks. *Journal of Optical Communications and Networking*. Vol. 9. No. 5. Pp. 433–445. May 2017. DOI: 10.1364/JOCN.9.000433.

18. Belov M.P., Truong D.D., P. van Tuan Self-Tuning PID Controller Using a Neural Network for Nonlinear Exoskeleton System. *II International Conference on Neural Networks and Neurotechnologies (NeuroNT)*, 2021. Pp. 6–9. DOI: 10.1109/NeuroNT53022.2021.9472852.

19. Wang R., Zhou Z., Qu G. Fuzzy Neural Network PID Control Based on RBF Neural Network for Variable Configuration Spacecraft. *2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*, 2018. Pp. 1203–1207. DOI: 10.1109/IAEAC.2018.8577860.

20. Ahmed A.A., Saleh Alshandoli A.F. On replacing a PID controller with Neural Network controller for Segway. *2020 International Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, 2020. Pp. 1–4. DOI: 10.1109/ICEE49691.2020.9249811.

Information about the author

Zhilov Ruslan Alberdovich, Junior researcher, Neuroinformatics and Machine Learning Department, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 89 A Shortanov street;

zhilov91@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3552-4854>

Применение метода роя частиц в задачах оптимизации

Е. М. Казакова

Институт прикладной математики и автоматизации –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, Нальчик, ул. Шортанова, 89 А

Аннотация. Оптимизация на основе роя частиц (particle swarm optimization – PSO) – это эвристический метод глобальной оптимизации, первоначально предложенный Дж. Кеннеди и Р.К. Эберхартом в 1995 году. Сегодня PSO является одним из самых известных и широко используемых алгоритмов роевого интеллекта из-за его простоты и возможности использования в широком диапазоне приложений. В данной статье представлен обзор приложений PSO в различных областях: электротехнике, системах автоматического управления, медицине, биологии, химии и т.д.

Ключевые слова: оптимизация, метаэвристический алгоритм, рой частиц, PSO

Поступила 26.09.2022, одобрена после рецензирования 03.10.2022, принята к публикации 10.10.2022

Для цитирования. Казакова Е. М. Применение метода роя частиц в задачах оптимизации // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 48–57. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-48-57

MSC: 68T27

Review article

Application of particle swarm method in the optimization problems

E.M. Kazakova

Institute of Applied Mathematics and Automation –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360000, Russia, Nalchik, 89 A Shortanov street

Annotation. Particle swarm optimization (PSO) is a heuristic global optimization method originally proposed by J. Kennedy and R.K. Eberhart in 1995. Today, PSO is one of the best known and widely used swarm intelligence algorithms due to its simplicity and ability to be used in a wide range of applications. This paper provides an overview of PSO applications in various fields: electrical engineering, automatic control systems, medicine, biology, chemistry, etc.

Key words: optimization, metaheuristic algorithm, Particle Swarm Optimization

Submitted 26.09.2022, approved after reviewing 03.10.2022, accepted for publication 10.10.2022

For citation. Kazakova E.M. Application of particle swarm method in the optimization problems. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 5 (109). Pp. 48–57. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-48-57

ВВЕДЕНИЕ

Метод оптимизации роем частиц (PSO) был предложен и первоначально разработан инженером-электриком Расселом К. Эберхартом и социальным психологом Джеймсом Кеннеди. Метод был описан в статьях [1, 2], написанных ими в соавторстве и опубликованных в 1995 г. Алгоритм PSO был инспирирован социальным и биологическим

поведением птичьих стай, ищущих источники пищи. В этом алгоритме частицы летают через пространство поиска для нахождения наилучшего глобального положения, которое минимизирует (или максимизирует) определенную задачу. В конце концов, весь рой, приближается к оптимуму целевой функции со скоростью сходимости, которая сильно зависит от выбранного варианта PSO и значений параметров [3].

Метод PSO основан на предпосылке, что знание заключается в социальном обмене информацией не только между поколениями, но и между элементами одного и того же поколения. Хотя PSO имеет индивидуальные характеристики, этот алгоритм также обладает некоторым сходством с характеристиками, обнаруженными в других вычислительных моделях, основанных на популяции, таких как генетические алгоритмы (GA) и другие эволюционные вычислительные методы. Преимущество метода PSO заключается в том, что он относительно прост, и его алгоритм сравнительно легко описать и реализовать.

Его простота и очевидная компетентность в нахождении оптимальных решений в сложных пространствах поиска привели к тому, что алгоритм PSO стал хорошо известен в научном сообществе, что способствовало его изучению и совершенствованию. Таким образом, было предложено множество подходов и протестированы различные приложения, особенно за последнее десятилетие.

Чтобы охватить научный вклад в отношении PSO, было выполнено несколько обзоров и метаанализов по PSO в различных областях применения. Бэнкс и др. [4] предложили краткий обзор в двух частях различных улучшений исходного метода PSO и его возможностей, а также проблем, связанных с алгоритмом PSO. Кроме того, в обзоре основное внимание уделялось исследованиям, касающимся адаптации для параллельной реализации, конфигурации алгоритма и динамических сред. В своем обзоре А. П. Карпенко [5] рассматривает различные модификации PSO со статической и динамической топологией соседства частиц, а также многороевый метод с миграцией частиц и параллельные методы роя частиц.

В обзоре представлены приложения PSO в различных областях, включая здравоохранение, промышленность и прочее.

КАНОНИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ PSO

Описание алгоритма

Метод PSO направлен на итеративную оптимизацию задачи, начиная с набора или популяции возможных решений, называемых в данном контексте роем частиц, в котором каждая частица знает глобальное наилучшее положение в рое, а также его индивидуальное наилучшее положение, найденное до сих пор в процессе поиска в пространстве решения задачи.

На каждой итерации на скорость и положение каждой частицы в рое, представленные D -мерными векторами, влияют индивидуальные и коллективные знания, направляющие повторяющиеся полеты частиц над пространством возможных решений задачи в поисках оптимума, пока не будет удовлетворен подходящий критерий остановки.

Как и в других метаэвристических алгоритмах [6], в PSO производится несколько основных этапов, включая инициализацию роя, вычисление фитнес-функции для каждой частицы, стратегию обновления и оценку приспособленности.

Процесс инициализации роя

Инициализация роя: частицы разбрасываются случайным образом на начальном этапе создания роя без определенного критерия. При последующих итерациях, обозначенных $t = 0, 1, \dots, T$, PSO начинается со случайно сгенерированного роя N , D -мерных частиц. Проще

говоря, с векторами положения с действительными значениями, представляющими начальные решения-кандидаты, путем инициализации положения каждой частицы x_i^0 (на итерации $t = 0$) в случайную позицию в пространстве поиска как

$$x_i^0 \sim U(x_{min}, x_{max})^D, \quad (1)$$

где D обозначает размерность пространства поиска или размер решаемой задачи, а x_i частица имеет вектор начального положения x_i^0 со значениями, выбираемыми случайным образом из равномерно распределенного диапазона $U(x_{min}, x_{max})^D$, где x_{min} и x_{max} – границы пространства поиска. В общем случае для представления вектора положения i -й частицы на каждой последующей итерации $t \geq 0$ можно использовать следующие обозначения:

$$x_i^t = (x_{i,1}^t, x_{i,2}^t, \dots, x_{i,D}^t). \quad (2)$$

Переменные решения (т. е. элементы вектора положения) задачи часто связаны с физическими мерами или компонентами, которые имеют естественные границы. Длина, вес и масса являются примерами таких границ, где значения переменных решения не должны быть отрицательными, поэтому следует определить диапазон $[x_{min}, x_{max}]$ значений, чтобы независимо ограничить значение каждой переменной решения в этом диапазоне.

Инициализация скорости: все частицы перемещаются в пространстве поиска со скоростью (размером шага), которая отражает эмпирические знания частиц, а также социальный обмен информацией о перспективных областях, посещенных в пространстве поиска, тем самым направляя процесс оптимизации в наиболее подходящие области. Аналогично инициализации положения скорость v_i каждой частицы может быть инициализирована как

$$v_i^t = (v_{i,1}^t, v_{i,2}^t, \dots, v_{i,D}^t), \quad (3)$$

где v_i^t – вектор скорости i -й частицы на итерации t . $v_{i,1}^t, v_{i,2}^t, \dots, v_{i,D}^t$ являются параметрами скорости, каждый из которых инициализируется случайным образом (на итерации $t = 0$) в пределах установленного диапазона $[x_{min}, x_{max}]$ или $[-v_{max}, v_{max}]$, чтобы частицы не выходили из пространства поиска [7]. v_{max} обозначается как максимально допустимый размер шага в любом измерении. v_{max} необязателен, если правильно задать параметры управления, то он вообще не нужен.

Оценка пригодности

Частицы роя проверяются в конце каждой итерации на индивидуальное лучшее положение, а также глобальное лучшее положение. Предполагается, что каждая i -я частица имеет уникальное значение пригодности $f(x_i^t)$ на каждой итерации t , которое вычисляется посредством оценки целевой функции. PSO запоминает индивидуальное лучшее решение (кандидат на лучшее глобальное решение), которое когда-либо встречалось каждой частице до текущей итерации t , как

$$p_{best}^t = (p_{best_1}^t, p_{best_2}^t, \dots, p_{best_N}^t), \quad (4)$$

где p_{best}^t представляет индивидуальные лучшие позиции всех частиц в рое на итерации t . В зависимости от типа задачи оптимизации (минимизация или максимизация) индивидуальная лучшая позиция $p_{best_i}^t$, которую i -я частица посетила до текущей итерации, скажем t , вычисляется как:

$$p_{best_i}^t = x_i^t | f(x_i^t) = \min/\max_{k=0,1,\dots,t} (\{f(x_i^k)\}), \quad (5)$$

где l – тот же индекс, что и k -я итерация, в которой i -я частица нашла наилучшую позицию до текущей итерации t . В конце каждой итерации все решения-кандидаты в p_{best}^t сортируются и первое ранжированное решение выбирается как глобальное (или соседнее) наилучшее решение или позиция g_{best}^t , которую посетила i -я частица-сосед:

$$g_{best}^t = p_{best_m}^t | f(p_{best_m}^t) = \min/\max_{k=1,2,\dots,N}(\{f(p_{best_i}^t)\}), \quad (6)$$

где m – тот же индекс, что и i -я частица, занимающая в целом наилучшее положение среди частиц роя.

Проверка пригодности: после инициализации роя и скорости у каждой частицы в рое проверяется ее начальное индивидуальное лучшее положение $f(p_{best_i}^0)$ вместе с начальным глобальным (или окрестным) наилучшим положением $f(g_{best}^0)$, используя уравнения (5) и (6) соответственно. На этапе инициализации индивидуальному наилучшему решению $p_{best_i}^0$ i -й частицы присваивается начальное положение x_i^0 .

Обновление скорости

На каждой текущей итерации, скажем $t + 1$, скорость i -й частицы v_i сначала регулируется путем направления ее параметров в сторону увеличения в положительном или отрицательном направлении в зависимости от сходимости текущей позиции, притягивая частицу к позициям в пространстве поиска, которые известны как хорошие из прошлого индивидуального опыта, а также из опыта других частиц в окрестности частицы. Исходный PSO [1, 2] был реализован для двух различных топологий соседства, глобального наилучшего (*gbest*) PSO и локального наилучшего (*lbest*) PSO.

Gbest PSO – это базовая версия алгоритма, представленного Кеннеди и Эберхартом [1, 2]. В поисках оптимального решения каждая частица движется: на каждой последующей итерации $t \geq 0$ – к своему более раннему индивидуальному положению p_{best}^t и глобальному лучшему положению g_{best}^t в рое путем добавления вектора скорости к положению частицы на предыдущей итерации

$$x_{i,j}^{t+1} = x_{i,j}^t + v_{i,j}^{t+1}, \quad (7)$$

где $v_{i,j}^0 = 0$ и $v_{i,j}^{t+1}$ – вектор скорости i -й частицы на итерации $t + 1$ в j измерении

$$v_{i,j}^{t+1} = \omega v_{i,j}^t + c_1 r_{1,i,j}^{t+1} (p_{best,i,j}^t - x_{i,j}^t) + c_2 r_{2,i,j}^{t+1} (g_{best,j}^t - x_{i,j}^t), \quad (8)$$

где:

инерциальный компонент $\omega v_{i,j}^t$, также называемый направлением полета, обеспечивает частице соответствующий импульс для перемещения по пространству поиска без резкого изменения направления на основе истории предыдущих направлений полета. Эта часть содержит параметр управления ω (*inertia weight* или IW);

когнитивный компонент $c_1 r_{1,i,j}^{t+1} (p_{best,i,j}^t - x_{i,j}^t)$ обозначает память о предыдущем индивидуальном лучшем положении, в котором она получала свою лучшую результативность в прошлом;

социальный компонент $c_2 r_{2,i,j}^{t+1} (g_{best,j}^t - x_{i,j}^t)$ определяет текущую производительность, связанную с лучшими глобальными решениями, найденными до сих пор.

$j \in 1, 2, \dots, D$ обозначает размеры (или компоненты) i -й частицы. Новые параметры, известные как коэффициенты познания и социального ускорения c_1 и c_2 , вместе с новым инерционным весом ω , которые были добавлены в инерционную версию PSO, представленную в [8], показали более высокую производительность, чем те, которые были с фиксированными параметрами. Параметры c_1 и c_2 , также называемые «коэффициентами

ускорения», являются положительными константами, обычно используемыми для определения ускорения скорости познания i -й частицы в направлении p_{best_i} и g_{best} соответственно. ω был первоначально разработан для решения проблемы быстрого роста скорости в исходной версии PSO 1995 года [1, 2]. Кроме того, ω в сочетании с c_1 и c_2 можно использовать для баланса глобального исследования и локальной эксплуатации. $r_{1,i,j}^{t+1}$ и $r_{2,i,j}^{t+1}$ представляют собой два независимых случайных числа на текущей итерации $t + 1$, которые равномерно распределены в диапазоне $[0, 1]$ и выбираются независимо для каждой i -й частицы в каждом j измерении, чтобы поддерживать разнообразие роя. $p_{best,i,j}^t$ – наилучшее индивидуальное положение частицы (или p_{best}), наилучшее положение, с которым сталкивается i -я частица (на итерации t) в j измерении, $g_{best,j}^t$ – наилучшее глобальное положение (или g_{best}) среди всех частиц в рое. В конце каждой итерации p_{best} и g_{best} оцениваются с помощью уравнений (5) и (6) соответственно, чтобы к концу алгоритма было получено глобальное наилучшее решение g_{best} .

lbest PSO похож на *gbest* PSO. Разница в том, что для *lbest* PSO

$$c_2 r_{2,i,j}^{t+1} (n_{best,j}^t - x_{i,j}), \quad (9)$$

где $n_{best,j}^t$ – наилучшее положение i -й частицы в своей окрестности в j -м измерении, наиболее подходящее p_{best} не всего роя, как в *gbest* PSO, а в подмножестве роя, образующего окрестности i -й частицы. Для *lbest* PSO окрестность каждой i -й частицы состоит из двух других частиц: $i - 1$ и $i + 1$. Топология соседства *lbest* PSO называется топологией кольца. Окрестность каждой частицы в *gbest* PSO – это просто весь рой; такая топология соседства называется полносвязной топологией. С момента появления в 1998 году параметр ω был включен в большинство недавно введенных вариантов PSO. По этой причине алгоритм с этим улучшением называется стандартным, каноническим или инерционным PSO (ω -PSO).

Канонический алгоритм PSO (ω -PSO):

создать и инициализировать N D -мерный рой

repeat

foreach *particle* $i = 1, 2, \dots, N$ **do**

if $f(x_i) < f(p_{best_i})$ **then**

$p_{best_i} = x_i$;

end

if $f(p_{best_i}) < f(g_{best})$ **then**

$g_{best} = p_{best_i}$;

end

end

foreach *particle* $i = 1, 2, \dots, N$ **do**

обновить частицу скорости, используя (8);

обновить позицию частицы, используя (7);

end

until *maximum iteration is reached or stopping condition is true*

ПРИЛОЖЕНИЯ PSO

За последние два десятилетия параллельно с исследованиями в области алгоритмов исследователи PSO также уделяли особое внимание исследованиям, связанными с PSO, для конкретных приложений. Каждая область применения PSO влечет за собой некоторые

проблемы, которые необходимо устранить, чтобы найти успешные решения, которые затем сделают PSO более эффективным и действенным для применения в реальных условиях.

В работе [9] для решения задачи восприятия поисково-спасательными роботами различных газов на объектах химической промышленности была предложена гибридная система обнаружения запахов для этих роботов, основанная на оптимизации роем частиц. С целью повышения устойчивости и точности предсказания системы предлагается метод PSO для оптимизации весовых коэффициентов интегрированной нейронной сети. Для оптимизации весов и порогов нейронной сети был введен улучшенный алгоритм PSO. Оптимизированная сеть используется в системе обнаружения, что снижает ошибку обнаружения системы. Система проанализировала ответные сигналы 4 газовых смесей массива датчиков, экспериментальные результаты показывают, что алгоритм нейронной сети, основанный на оптимизации роем частиц, применяется для обучения количественной идентификации газовой смеси, и скорость сходимости выше, а точность обнаружения выше, чем у алгоритма обратного распространения ошибки.

Проблема распределения задач между несколькими роботами (the multi-robot task allocation – MRTA) в последнее время стала ключевой темой исследований. Распределение задач – это проблема сопоставления задач с роботами, так что выбирается наиболее подходящий робот для выполнения наиболее подходящей задачи, что приводит к оптимальному выполнению всех задач. Увеличение количества задач и роботов может привести к тому, что сотрудничество между роботами станет более жестким. Поскольку этот процесс требует большого вычислительного времени, в статье [10] описывается метод, который уменьшает размер исследуемого пространства состояний путем разделения задач на кластеры. В реальных задачах обычно отсутствует информация о количестве кластеров. Динамическая кластеризация благоприятна для разделения задач на соответствующее количество кластеров. В работе для решения задачи MRTA предлагается новый автоматизированный и эффективный алгоритм кластеризации задач роботов, основанный на оптимизации динамически распределенным роем частиц (the dynamic distributed PSO – D²PSO). Подход состоит из двух этапов: этап I группирует задачи в кластеры с использованием алгоритма D²PSO, а этап II распределяет роботов по кластерам. Назначение роботов кластерам представлено в виде множественных задач коммивояжера (multiple traveling salesman problems – MTSP). Были проведены вычислительные эксперименты, чтобы доказать эффективность подхода с точки зрения времени кластеризации, стоимости и времени MRTA по сравнению с распределенным PSO (the distributed PSO – dPSO) и генетическим алгоритмом (genetic algorithm – GA). Благодаря алгоритму D²PSO можно избежать проблем стагнации и локальных оптимумов за счет добавления разнообразия в популяцию без ущерба скорости сходимости PSO.

Целью исследования статьи [11] является сравнение трех разных контроллеров, настроенных с помощью PSO для управления траекторией робота. По этой причине PID-регулятор (пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор) дробного порядка (Fractional order PID – FOPID), настроенный с помощью PSO, был изучен в первую очередь для планарного робота с двумя степенями свободы. Поскольку параметры контроллера FOPID были оптимизированы PSO для заданной траектории, для лучшего сравнения использовались три различные функции стоимости. Чтобы сравнить производительность оптимизированного контроллера FOPID с другими контроллерами, контроллер с нечеткой логикой (the fuzzy logic controller – FLC) и PID-регулятор также были настроены с помощью PSO. Для проверки надежности настроенных регуляторов параметры модели и заданная траектория были изменены, а в систему был добавлен белый шум. Все результаты моделирования траектории показали, что контроллер FOPID, настроенный с помощью PSO, имеет хорошие характеристики и лучше, чем FLC и PID, настроенные с

помощью PSO. Кроме того, результаты теста указывают на более высокую надежность контроллера FOPID по сравнению с другими.

Компьютерная диагностика (computer-aided diagnosis – CAD) является широко используемым методом для обнаружения и диагностики таких заболеваний, как опухоли, рак, отеки и т.д. Некоторые критические заболевания сетчатки, такие как диабетическая ретинопатия (diabetic retinopathy – DR), гипертоническая ретинопатия (hypertensive retinopathy – HR), дегенерация желтого пятна, пигментный ретинит (retinitis pigmentosa – RP), в основном анализируются на основе наблюдения изображений глазного дна. Необработанные изображения глазного дна имеют низкое качество, поэтому они не могут непосредственно отображать незначительные изменения. Для обнаружения и анализа незначительных изменений в сосудистой сети сетчатки или для применения усовершенствованных алгоритмов обнаружения заболеваний изображение глазного дна должно быть достаточно улучшено, чтобы визуализировать сосудистое скопление. Производительность моделей глубокого обучения для диагностики этих критических заболеваний сильно зависит от точной сегментации изображений. В частности, для сегментации сосудов сетчатки точная сегментация изображений глазного дна очень сложна из-за низкого контраста сосудов, различной ширины, ветвления и пересечения сосудов. Для повышения контрастности в различных методах сегментации сосудов сетчатки в качестве этапа предварительной обработки применяется повышение контрастности изображения, что может внести шум в изображение и повлиять на обнаружение сосудов. В последнее время во многих исследованиях применялось адаптивное выравнивание гистограммы с ограниченным контрастом (contrast limited adaptive histogram equalization – CLAHE) для повышения контрастности, но со значениями по умолчанию для контекстной области и ограничения клипа. В исследовании [12] цель состоит в том, чтобы улучшить производительность как контролируемых, так и неконтролируемых моделей машинного обучения для сегментации сосудов сетчатки путем применения модифицированной оптимизации роем частиц (modified particle swarm optimization – MPSO) для настройки параметров CLAHE с особым акцентом на оптимизацию предела отсечения и контекстуальных областей.

В работе оцениваются возможности оптимизированной версии CLAHE с применением стандартных метрик оценки. Используются изображения с контрастным усилением, полученные с помощью CLAHE на основе MPSO, чтобы продемонстрировать его реальное влияние на производительность модели глубокого обучения для семантической сегментации изображений сетчатки. Достигнутые результаты оказали положительное влияние на чувствительность моделей машинного обучения с учителем, что очень важно.

При использовании SVM (метода опорных векторов, или support vector machine) для решения практических задач выбор функции ядра и ее параметров играет важную роль в хороших или плохих результатах, и нужно только выбрать соответствующую функцию ядра и параметры, чтобы получить классификатор SVM с хорошей способностью к обобщению. Функция ядра RBF (ядро радиальной базисной функции, или radial basis function kernel) используется наиболее широко, и есть только два параметра: C и γ . В статье [13] обсуждается метод выбора параметров PSO и поиска по сетке соответственно. Метод поиска по сетке требует длительного поиска, за это время PSO легко попадает в локальный оптимум, из-за этих недостатков в данной работе предлагается усовершенствованный метод, сочетающий PSO и метод поиска по сетке. Сравнительный эксперимент по результатам ORL (оптические возвратные потери, или optical return loss) показывает, что предлагаемый метод имеет более высокую скорость и более высокую точность распознавания, чем метод поиска по сетке. Этот метод имеет более высокую точность распознавания, чем метод с одним PSO, и может эффективно избежать попадания в локальный оптимум. В статье [14] предлагается структура для диагностики болезни

Альцгеймера, которая состоит из предварительной обработки МРТ-изображений, выделения признаков, анализа главных компонент и модели SVM.

Для случаев с подозрением на COVID-19 крайне важно точно и быстро диагностировать заболевание, чтобы больных можно было изолировать и оказать им необходимую медицинскую помощь. Самообучающаяся автоматическая модель будет полезна для диагностики человека с подозрением на COVID-19 с помощью рентгена грудной клетки. Недавно для обнаружения COVID-19 были предложены конструкции на основе искусственного интеллекта, в которых используется рентген грудной клетки. Однако эти подходы либо используют закрытую базу данных, либо имеют сложную структуру. В исследовании [15] была предложена новая структура для обнаружения пациентов с коронавирусом в режиме реального времени без ручного вмешательства. В этой структуре содержится трехэтапный процесс, в котором первоначально выполняется кластеризация K-средних, а извлечение признаков выполняется как этап предварительной обработки данных. На втором этапе выбранные функции оптимизируются с помощью нового подхода к оптимизации функций, основанного на алгоритме гибридной дифференциальной эволюции и PSO. Затем оптимизированные функции перенаправляются в классификатор SVM. Эмпирические результаты показывают, что предложенная модель способна достичь точности 99,34%. Это показывает, что модель надежна и устойчива в диагностике человека, инфицированного COVID-19.

Многоцелевая оптимизация (multi-objective optimization – MOO) охватывает многие реальные проблемы оптимизации. Из-за внутренней противоречивости целей, подлежащих оптимизации, решение этих задач представляет собой сложную задачу. Задачи многоцелевой оптимизации решались с использованием различных методов вычислительного интеллекта. В статье [16] представлен PSO с комбинированными нормализованными целями для решения задач многоцелевой оптимизации, выбирающих оптимальные значения для ключевых технологических параметров процесса электролитической обработки, таких как скорость подачи инструмента, расход электролита, приложенное напряжение. Приложенное напряжение играет важную роль в оптимизации показателя производительности процесса. Предлагаемый PSO оценивает производительность скорости съема материала и шероховатости поверхности регрессионной модели и подтверждается с использованием экспериментальных результатов электрохимической обработки алюминиевых композитных материалов, а также проверочных испытаний. Предложенный алгоритм в сочетании с интеллектуальным методом производства приводит к снижению производственных затрат и времени, а также к большему увеличению гибкости выбора параметров обработки.

Задача оптимального управления генерирующим потребителем с возобновляемыми источниками энергии в интеллектуальной сети с распределенной генерацией и двусторонними потоками энергии рассмотрена в статье [17]. Решение данной задачи оптимизации выполнено алгоритмом PSO и другими роевыми алгоритмами, а также алгоритмом градиентного спуска. Полученные результаты показали высокую эффективность роевых алгоритмов, которые продемонстрировали надежную и быструю сходимость к глобальному экстремуму задачи оптимизации при различных вариантах взаимодействия и различных параметрах генерирующих потребителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение можно сказать, что PSO продемонстрировал преимущество во многих областях применения по сравнению со многими другими алгоритмами оптимизации. Некоторые недостатки, выявленные в алгоритме, были уменьшены различными модификациями канонического ω -PSO. Данный метод оптимизации является

универсальным, что еще больше подчеркивает его эффективность. Такая гибкость сделала PSO надежным оптимизатором в самых разных, но сложных сценариях оптимизации.

REFERENCES

1. Eberhart R., Kennedy J. Particle swarm optimization. *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks*, 4, IEEE, 1995. DOI: 10.1109/ICNN.1995.488968. Pp. 1942–1948.
2. Eberhart R., Kennedy J. A new optimizer using particle swarm theory. *MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, IEEE, 1995. DOI:10.1109/MHS.1995.494215. Pp. 39–43.
3. Cleghorn C. W., Engelbrecht A. P. Particle swarm convergence: An empirical investigation. *2014 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC) (2014)*. DOI: 10.1007/978-3-319-09952-112. Pp. 2524-2530.
4. Banks A., Vincent J., Anyakoha C. A review of particle swarm optimization. *Part I: background and development*, *Nat. Comput.*, 2007. DOI: 10.1007/s11047-007-9049-5. Vol. 4. No. 6. Pp. 467–484.
5. Karpenko A.P., Seliverstov E.Yu. A review of particle swarm methods for the global optimization problem (Particle Swarm Optimization). *Mashinostroyeniye i komp'yuternyye tekhnologii* [Mechanical Engineering and Computer Technologies]. 2009. No. 3. P. 2 (in Russian)
- Карпенко А. П., Селиверстов Е. Ю. Обзор методов роя частиц для задачи глобальной оптимизации (Particle Swarm Optimization) // *Машиностроение и компьютерные технологии*, 2009. № 3. С. 2.
6. Houssein E.H., Saad M.R., Hashim F.A., Shaban H., Hassaballah M. Levy flight distribution: a new metaheuristic algorithm for solving engineering optimization problems. *Eng. Appl. Artif. Intell.*, 2020. Vol. 94. Pp. 103731. DOI: 10.1016/j.engappai.2020.103731.
7. Cazzaniga P., Nobile M.S., Besozzi D. The impact of particles initialization in PSO: parameter estimation as a case in point. *IEEE Conference on Computational Intelligence in Bioinformatics and Computational Biology (CIBCB)*, IEEE, 2015. Vol. 94. Pp. 1–8. DOI: 10.1109/CIBCB.2015.7300288.
8. Farooq M.U., Ahmad A., Hameed A. Opposition-based initialization and a modified pattern for inertia weight (IW) in PSO. *IEEE International Conference on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)*, IEEE, 2017. Pp. 96–101. DOI: 10.1109/INISTA.2017.8001139.
9. Shang J. [et al.] Hybrid Odor Detection System for Search and Rescue Robot Based on PSO. *Chemical Engineering Transactions*, 2018. Vol. 68. Pp. 151–156.
10. Asma A., Sadok B. PSO-based dynamic distributed algorithm for automatic task clustering in a robotic swarm. *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 159. Pp. 1103–1112. DOI: 10.1016/j.procs.2019.09.279.
11. Bingul Z., Karahan O. Tuning of fractional PID controllers using PSO algorithm for robot trajectory control. *IEEE International Conference on Mechatronics*, 2011. Pp. 955–960. DOI: 10.1109/ICMECH.2011.5971254.
12. Aurangzeb K., Aslam S., Alhussein M., Naqvi R.A., Arsalan M., Haider S. I. Contrast Enhancement of Fundus Images by Employing Modified PSO for Improving the Performance of Deep Learning Models. *IEEE Access*. Vol. 9. Pp. 47930–47945. 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3068477.
13. Taijia Xiao, Dong Ren, Shuanghui Lei, Junqiao Zhang, Xiaobo Liu. Based on grid-search and PSO parameter optimization for Support Vector Machine. *Proceeding of the 11th World Congress on Intelligent Control and Automation*, 2014. Pp. 1529–1533. DOI: 10.1109/WCICA.2014.7052946.

14. Zeng N. [et al]. A new switching-delayed-PSO-based optimized SVM algorithm for diagnosis of Alzheimer's disease. *Neurocomputing*, 2018. Vol. 320. Pp. 195–202. DOI: 10.1016/j.neucom.2018.09.001.

15. Dixit A., Mani A., Bansal R. CoV2-Detect-Net: Design of COVID-19 prediction model based on hybrid DE-PSO with SVM using chest X-ray images. *Information sciences*. 2021. Vol. 571. Pp. 676–692. DOI: 10.1016/j.ins.2021.03.062.

16. Prakash S.O., Jeyakumar M., Gandhi B.S. Parametric optimization on electro chemical machining process using PSO algorithm. *Materials Today: Proceedings*. 2022. DOI: 10.1016/j.matpr.2022.04.141.

17. Manusov V.Z., Matrenin P.V., Nasrullo H. Application of swarm intelligence algorithms in the management of a generating consumer with renewable energy sources. *Sistemy analiza i obrabotki dannykh* [Systems of Analysis and Data Processing]. 2019. Vol. 76. No. 3. Pp. 115–134. DOI: 10.17212/1814-1196-2019-3 -115-134 (in Russian)

Манусов В. З., Матренин П. В., Насрулло Х. Применение алгоритмов роевого интеллекта в управлении генерирующим потребителем с возобновляемыми источниками энергии // Системы анализа и обработки данных. 2019. Т. 76. № 3. С. 115–134. DOI: 10.17212/1814-1196-2019-3-115-134.

Информация об авторе

Казакова Елена Мусовна, мл. науч. сотр. отдела нейроинформатики и машинного обучения, Институт прикладной математики и автоматизации – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. Шортанова, 89 А;

shogenovae@inbox.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5819-9396>

Information about the author

Kazakova Elena Musovna, Junior Researcher of the Department of Neuroinformatics and Machine Learning, Institute of Applied Mathematics and Automation – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 89 A Shortanov street;

shogenovae@inbox.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5819-9396>

Модели описания и критерии оценки эффективности распределения и планирования задач в роевых робототехнических системах*

В. И. Петренко, Ф. Б. Тебуева, А. С. Павлов, М. М. Гурчинский

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Северо-Кавказский федеральный университет»
355017, Россия, Ставрополь, ул. Пушкина, 1

Аннотация. Применение роевых робототехнических систем (РРТС) в условиях неопределенности актуализирует вопросы разработки соответствующих моделей описания и критериев оценки эффективности распределения и планирования задач. Под условиями неопределенности понимается неполнота информационного обеспечения агентов РРТС о работоспособности других агентов и статусе выполнения назначенных им задач. Цель исследования: разработка моделей описания и критериев оценки эффективности распределения и планирования задач в РРТС в условиях неопределенности с учетом ограниченных возможностей агентов РРТС и специфики децентрализованного управления. Для достижения цели были использованы методы системного анализа, теории графов, теории распределенного реестра. Методы: в работе предложены следующие новые критерии оценки эффективности: критерий доли решенных задач, критерий осведомленности РРТС обо всех задачах, критерий частоты формирования управляющих воздействий. Элементом новизны представленных моделей описания и критериев оценки эффективности является учет общего киберфизического пространства РРТС в процессе принятия решения о выборе той или иной задачи для дальнейшего выполнения в условиях неопределенности. Результаты: предложенные модели описания и критерии оценки эффективности распределения и планирования задач в РРТС на основе общего киберфизического пространства обеспечивают более точную оценку эффективности выполнения глобальной задачи при функционировании в условиях неопределенности по сравнению с существующими решениями.

Ключевые слова: роевые робототехнические системы, киберфизические системы, распределение задач, планирование задач, распределенный реестр

Поступила 26.08.2022, одобрена после рецензирования 19.09.2022, принята к публикации 22.09.2022

Для цитирования. Петренко В. И., Тебуева Ф. Б., Павлов А. С., Гурчинский М. М. Модели описания и критерии оценки эффективности распределения и планирования задач в роевых робототехнических системах // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 58–72. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-58-72

MSC: 68T05

Original article

Description models and criteria for evaluating the efficiency of task allocation and planning in swarm robotic systems*

V.I. Petrenko, F.B. Tebueva, A.S. Pavlov, M.M. Gurchinskiy

Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education
"North-Caucasus Federal University"
355017, Russia, Stavropol, 1 Pushkin street

© Петренко В. И., Тебуева Ф. Б., Павлов А. С., Гурчинский М. М., 2022

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90026

* The reported study was funded by RFBR according to the research project № 20-37-90026

Annotation. The use of swarm robotic systems (SRS) in conditions of uncertainty actualizes the development of appropriate description models and criteria for evaluating the effectiveness of the task allocation and planning. Uncertainty conditions are understood as incompleteness of information support for SRS agents about the performance of other agents and the status of the tasks assigned to them. Purpose of the research: develop models for describing and criteria for evaluating the effectiveness of the task allocation and planning in the SRS in conditions of uncertainty, taking into account the limited capabilities of SRS agents and the specifics of decentralized management. To achieve the goal, the methods of system analysis, graph theory, and distributed ledger theory were used. Methods: the paper proposes the following new criteria for assessing the effectiveness: the criterion for the proportion of solved tasks, the criterion for the SRS all tasks awareness, the criterion for the formation of control actions frequency. An element of novelty of the presented models of description and criteria for evaluating efficiency is taking into account the general cyber-physical space of the SRS in the process of making a decision on the choice of a particular task for further execution under conditions of uncertainty. Results: the proposed description models and criteria for assessing the effectiveness of the task allocation and planning in the SRS on the basis of a common cyber-physical space provide a more accurate assessment of the effectiveness of a global task when operating under uncertainty conditions in comparison with existing solutions.

Key words: swarm robotic systems, cyber-physical systems, task allocation, task planning, distributed ledger

Submitted 26.08.2022,

approved after reviewing 19.09.2022,

accepted for publication 22.09.2022

For citation. Petrenko V.I., Tebueva F.B., Pavlov A.S., Gurchinskiy M.M. Description models and criteria for evaluating the efficiency of task allocation and planning in swarm robotic systems. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 5 (109). Pp. 58–72. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-58-72

ВВЕДЕНИЕ

Робототехнические системы (РТС) применяются для эффективного решения множества сложных задач, например, сборочное производство электронных приборов, автомобилей, исследование опасных объектов и местности, обезвреживание взрывоопасных предметов, разминирование местности, охрана и мониторинг транспортных, оборонных, энергетических и химических объектов [1] и др. При решении подобных задач становится актуальным применение мультиагентных РТС (МРТС). При этом важными проблемами, подлежащими решению для обеспечения функционирования МРТС, являются: определение состава и структуры МРТС, а также синтез системы управления [2], эффективное распределение задач между агентами МРТС и последующее планирование последовательности их выполнения [3–5], обеспечение группового движения [6], достижение консенсуса [7], обеспечение надежности [8] и кибербезопасности [9].

Агенты МРТС могут различаться по структурному исполнению (габаритные размеры, наличие нескольких вычислительных платформ и т.д.) и функциональному назначению (наличие на борту агентов МРТС специализированных исполнительных устройств, датчиков и сенсоров). В этом случае МРТС следует рассматривать как гетерогенные [10]. Гетерогенные МРТС применяются для решения сложных задач, которые могут быть декомпозированы на ряд более простых специфических подзадач.

Частным случаем гомогенной МРТС является роевая РТС (РРТС) [11]. Характерными особенностями систем подобного рода являются [12]:

- полностью децентрализованная система управления. Ожидаемое поведение агентов РРТС достигается за счет использования принципов самоорганизации агентов;
- ограниченные возможности вычислительных устройств агентов, а также бортовых датчиков и сенсоров.

Предметом данной статьи является процесс распределения и планирования задач в РРТС.

СТРАТЕГИИ ПЛАНИРОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАЧ

Актуальными областями применения МРТС являются: мониторинг лесных массивов [13–15], нефте- и газопроводов [16], распознавание людей при проведении поисково- и аварийно-спасательных работ [17] и др. При решении перечисленных задач МРТС зачастую приходится функционировать в условиях неопределенности, в непредсказуемой и недетерминированной среде [18]. Данные факторы актуализируют реализацию МРТС в виде РРТС. Для РРТС [19] децентрализованное распределение задач – единственно возможный вариант осуществления распределения задач. Особенностью децентрализованной стратегии является сложность математического моделирования процесса распределения задач в процессе функционирования РРТС в условиях неопределенности с учетом всех вышеперечисленных факторов.

Приведенные в работах [20–25] существующие модели описания распределения и планирования задач обладают следующими недостатками при их применении к РРТС:

1. Не учитывается распределенный и неполный характер информации. Предположим, что новые задачи возникают/обнаруживаются в процессе функционирования РРТС. Информация о таких новых задачах становится доступной только агентам, которые их обнаружили. При принятии решений о выполнении каких-либо задач агенты не обладают информацией о статусе завершенности других задач и состоянии агентов, за исключением тех задач и агентов, которые находятся в поле видимости. В процессе функционирования РРТС у части агентов может произойти отказ в работе, что приведет к необходимости выполнения назначенных им задач другими агентами. Таким образом, централизованные алгоритмы планирования неэффективны для применения в таких системах. Также РРТС обладает свойством расширяемости, что позволяет ввести новых агентов и за счет этого выполнить перепланировку/перераспределение задач.

2. Время ожидания перед выполнением задачи (процесс принятия решения) W [12]: необходимо рассматривать более детально с учетом времени на коммуникацию агентов, в том числе в условиях ограниченной дальности связи. Использование в этом случае распределенного реестра (РР) позволит уменьшить время принятия решения за счет уменьшения объема информационных потоков между агентами. При этом вырастет нагрузка на каналы связи, т.к. необходима постоянная синхронизация для получения новых данных из РР в реальном масштабе времени.

Данные недостатки актуализируют задачу разработки новых моделей описания и критериев оценки эффективности распределения и планирования задач в РРТС, учитывающих специфику децентрализованного управления, ограниченные возможности агентов РРТС, возможность возникновения новых задач, неизвестность статуса выполнения задач и состояния других агентов РРТС. Новые модели описания и критерии оценки эффективности потенциально позволят повысить эффективность разрабатываемых методов распределения и планирования задач в РРТС.

ПРЕДЛАГАЕМЫЕ МОДЕЛИ ОПИСАНИЯ

Модель описания распределения и планирования задач в РРТС должна включать в себя следующие компоненты:

- вектор $s \in S$ состояния модели, однозначно описывающий состояние внешней среды и РРТС, где S – множество возможных значений вектора состояния;
- функцию перехода f , позволяющую определить вектор $s'(t')$ состояния РРТС и внешней среды в следующий момент времени t' на основе вектора $s(t)$ состояния в текущий момент времени t .

Для решения выявленных проблем существующих моделей описания предлагается дополнить модель описания распределения и планирования задач в РРТС следующим образом:

1. Ввести учет распределения изначально неизвестных задач (рис. 1). На рисунке 1 крестиками обозначены агенты, белыми кружками задачи, о которых известно хотя бы одному агенту, черными кружками – задачи, о которых не известно ни одному агенту. Окружностями с пунктирными линиями обозначены области видимости агентов. На приведенном рисунке задачи 2 и 4 попадают в области видимости агентов, поэтому предполагается, что о них априорно известно агентам РРТС. Несмотря на то, что задача 1 не попадает в области видимости ни одного из агентов, о ней может быть известно изначально, либо она была обнаружена в процессе движения одним из агентов. Задачи 3 и 5 окрашены в черный цвет, потому что о них пока не известно ни одному из агентов.

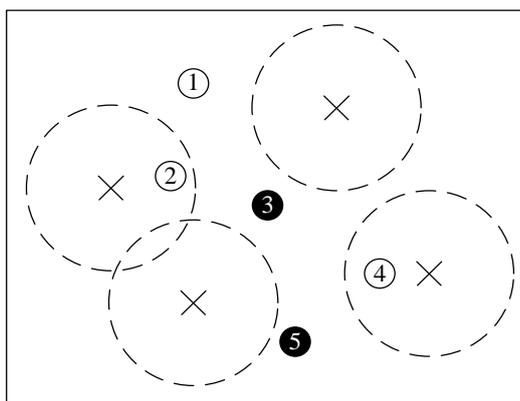


Рис. 1. Известные и неизвестные задачи

Fig. 1. Known and unknown tasks

2. Включить в состояние агентов не только их физические характеристики, такие как способность выполнять ту или иную задачу или наличие некоторого количественного ресурса, но также и состояние их информационной обеспеченности.

3. Учесть процесс распространения информации, ограниченный свойствами динамически изменяющейся топологии и пропускной способности каналов связи. Для этого в работе предложена модель описания киберфизического пространства РРТС.

4. Включить в модель описания не только количественные показатели, описывающие наличие некоторых ресурсов у агентов РРТС, но также и качественные характеристики, описывающие возможность выполнения агентами РРТС некоторых операций, зависящих от наличия/исправности необходимого бортового оборудования.

МОДЕЛЬ ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАДАЧ В РРТС

Для учета данных особенностей предлагается следующая модель. Пусть состояние модели s , однозначно описывающей состояние внешней среды и РРТС, включает в себя состояние внешней среды e (англ. «environment») и состояние РРТС r :

$$s = (e, r), \quad (1)$$

где $e \in \mathcal{E}$, \mathcal{E} – множество возможных состояний внешней среды; $r \in \mathcal{R}$, \mathcal{R} – множество возможных состояний РРТС.

Обозначим множество всех задач \mathcal{T} (англ. «task»), выполненных и не выполненных, известных и неизвестных, аналогично формуле (2) работы [12].

Каждая задача τ_j может быть описана следующим кортежем:

$$\tau_j = \langle p_{\tau_j}, u_{\tau_j}, d_{\tau_j} \rangle, \quad (2)$$

где p_{τ_j} – позиция задачи τ_j в геометрическом пространстве; u_{τ_j} – вектор параметров, характеризующих особенности выполнения задачи τ_j ; d_{τ_j} – статус завершенности задачи τ_j .

Позиция j -й задачи p_{τ_j} представляет собой двух- или трехмерный вектор в зависимости от размерности d задачи моделирования: $p_{\tau_j} \in \mathbb{R}^d, d \in \{2; 3\}$.

Вектор u_{τ_j} параметров, характеризующих особенности выполнения задачи τ_j , может включать в себя компоненты, описывающие качественные или количественные характеристики агентов, необходимые для выполнения задачи τ_j . Например, наличие определенного бортового оборудования, необходимый запас энергии батареи, необходимая точность позиционирования рабочего органа и т. п.

Статус d_{τ_j} завершенности задачи τ_j является переменной логического типа: $d_{\tau_j} \in \{0; 1\}$.

Состояние внешней среды e включает в себя множество всех задач \mathcal{T} и набор физических характеристик среды ϕ_e :

$$e = (\mathcal{T}, \phi_e). \quad (3)$$

Набор физических характеристик среды может включать в себя такие характеристики, как рельеф местности, карта воздушных потоков (для БПЛА), карты характеристик поверхности (для наземных мобильных РТС) и др.

Состояние РРТС r может быть описано как совокупность состояний агентов РРТС аналогично формуле (1).

Дополнительно:

- каждый агент РРТС r_i оснащен бортовым устройством управления и средством связи;
- каждый агент РРТС r_i имеет ограниченную область видимости v_i , которую можно представить в виде окружности заданного радиуса r_v с центром, совпадающим с позицией агента РРТС $x_i(t), y_i(t)$ в текущий момент времени t ;
- бортовые средства связи позволяют каждому агенту r_i получить данные о состоянии других агентов, попадающих в его область видимости, ограниченную радиусом r_v области видимости v_i ;
- каждый агент r_i ограничен информацией только о подмножестве задач $\mathcal{T}_{v_i} \subseteq \mathcal{T}$, находящихся в области видимости агента v_i .

Каждый агент r_i может быть описан следующим кортежем:

$$r_i = \langle p_{ri}, \dot{p}_{ri}, \ddot{p}_{ri}, \phi_{ri}, \rho_{ri} \rangle, \quad (4)$$

где $p_{ri}, \dot{p}_{ri}, \ddot{p}_{ri}$ – позиция, скорость и ускорение агента r_i в геометрическом пространстве; ϕ_{ri} – вектор параметров физического состояния агента r_i ; ρ_{ri} – вектор состояния информационного обеспечения агента r_i .

Аналогично с позицией задачи в геометрическом пространстве, $p_{ri}, \dot{p}_{ri}, \ddot{p}_{ri} \in \mathbb{R}^d, d \in \{2; 3\}$.

Вектор ϕ_{ai} параметров физического состояния агента a_i может включать в себя как качественные, так и количественные параметры. Примерами качественных параметров могут являться наличие и работоспособность необходимого бортового оборудования. Примерами количественных параметров являются заряд батареи, точность позиционирования рабочего органа, разрешающая способность визуального наблюдения, грузоподъемность и пр.

В рамках предлагаемой модели описания процесса распределения и планирования задач в РРТС вектор ρ_{ri} состояния информационного обеспечения агента r_i может быть описан следующим кортежем:

$$\rho_{ri} = \langle \mathcal{T}_i, r^{(i)}, S_i, \pi_i \rangle, \quad (5)$$

где \mathcal{T}_i – подмножество задач, о которых известно агенту r_i , $\mathcal{T}_i \subseteq \mathcal{T}$; $r^{(i)}$ – совокупность состояний агентов, о которых известно агенту r_i , $r^{(i)} \subseteq r$; S_i – множество элементарных участков внешней среды, которые считаются исследованными согласно представлениям агента r_i ; π_i – план агента r_i , представляющий собой последовательность задач, которые собирается выполнить агент.

Второй необходимой составляющей модели описания распределения и планирования задач в РРТС является функция перехода между состояниями модели. Пусть поведение каждого агента РРТС определяется управляющим алгоритмом c , который на основе вектора параметров физического состояния ϕ_{ri} и вектора состояния информационного обеспечения ρ_{ri} формирует предпринимаемое агентом r_i действие $a_i(t) \in \mathcal{A}$:

$$c: \Phi \times P \rightarrow \mathcal{A}, \quad (6)$$

где Φ – множество возможных значений вектора параметров физического состояния; P – множество возможных значений вектора состояния информационного обеспечения; \mathcal{A} – множество возможных действий агентов РРТС.

Введем обозначение a для совокупного действия всех агентов РРТС:

$$a = (a_i | i = \overline{1, n}). \quad (7)$$

На основе предпринятого совокупного действия a согласно некоторой функции перехода f осуществляется преобразование текущего состояния модели $s(t)$ и совокупности действий агентов РРТС в следующее состояние модели $s(t')$:

$$f(a(t), s(t)) = s(t'). \quad (8)$$

Путем подстановки выражения (1) в выражение (8) получаем следующее выражение:

$$f(a(t), e(t), r(t)) = (e(t'), r(t')). \quad (9)$$

Функция перехода f может быть разделена на две функции – закон f_e функционирования внешней среды и закон f_r функционирования РРТС:

$$f_e(a(t), e(t), r(t)) = e(t'), \quad (10)$$

$$f_r(a(t), e(t), r(t)) = r(t'). \quad (11)$$

Состояние внешней среды в следующий момент времени t' непосредственно зависит только от совокупного действия $a(t)$ всех агентов РРТС. При этом выбор совокупного действия $a(t)$ осуществляется исходя из текущего состояния РРТС $r(t)$, что обуславливает лишь косвенное влияние состояния РРТС на изменение состояния внешней среды. Исходя из этих рассуждений выражение (10) может быть переписано в виде:

$$f_e(a(t), e(t)) = e(t'). \quad (12)$$

Закон f_e функционирования внешней среды сильно зависит от контекста задачи: типа движения агентов, а также модели их функционирования. По данным причинам моделирование изменения вектора состояния внешней среды выходит за рамки предлагаемой модели описания распределения и планирования задач в РРТС. В рамках предлагаемой модели описания рассматривается только статус завершенности d_{τ_j} задачи τ_j . Значение статуса завершенности d_{τ_j} в следующий момент времени t' определяется наличием рядом i -го агента, обладающего подходящим значением вектора ϕ_{ri} параметров физического состояния агента и расстоянием не более некоторого порогового значения. Следующее состояние статуса d_{τ_j} завершенности задачи τ_j может быть описано функцией f_d :

$$f_d: \langle \tau_j, r_i \rangle \rightarrow \{0; 1\}, \quad (13)$$

где ноль соответствует статусу незавершенной задачи, а единица соответствует статусу завершенной задачи.

Путем подстановки выражения (4) в (11) получаем следующее выражение:

$$\begin{aligned} f_r(a(t), e(t), p(t), \dot{p}(t), \ddot{p}(t), \phi(t), \rho(t)) &= \\ &= (p(t'), \dot{p}(t'), \ddot{p}(t'), \phi(t'), \rho(t')), \end{aligned} \quad (14)$$

где p , \dot{p} и \ddot{p} – совокупности позиций, скоростей и ускорений агентов РРТС:

$$p = (p_{ri} | r_i \in r), \quad (15)$$

$$\dot{p} = (\dot{p}_{ri} | r_i \in r), \quad (16)$$

$$\ddot{p} = (\ddot{p}_{ri} | r_i \in r). \quad (17)$$

Аналогичным образом могут быть получены выражения для законов изменения позиций, скоростей и ускорений агентов, а также вектора параметров физического и информационного состояния агентов:

$$f_p(a(t), e(t), p(t), \dot{p}(t), \ddot{p}(t), \phi(t), \rho(t)) = (p(t'), \dot{p}(t'), \ddot{p}(t')), \quad (18)$$

$$f_\phi(a(t), e(t), p(t), \dot{p}(t), \ddot{p}(t), \phi(t), \rho(t)) = \phi(t'), \quad (19)$$

$$f_\rho(a(t), e(t), p(t), \dot{p}(t), \ddot{p}(t), \phi(t), \rho(t)) = \rho(t'). \quad (20)$$

Закон f_p изменения позиций, скоростей и ускорений агентов может быть смоделирован системой дифференциальных уравнений движения. Закон f_ϕ изменения вектора параметров физического состояния, как и закон f_e изменения вектора состояния внешней среды, сильно зависит от контекста моделирования. К данному закону могут быть отнесены зависимость заряда батареи от тяги двигателей или затраты любых других ресурсов. С точки зрения данной работы интерес представляет моделирование функции f_ρ перехода вектора ρ состояния информационного обеспечения агентов.

МОДЕЛЬ ОПИСАНИЯ КИБЕРФИЗИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА РРТС

С одной стороны, наличие алгоритмов управления и обмена информацией между агентами РРТС не позволяет описать поведение РРТС системой уравнений динамики, что делает невозможным рассмотрение ее как исключительно физической системы. С другой стороны, обусловленность процессов накопления и распространения информации в РРТС

состоянием физической среды (расстояние между агентами и возможность контакта с ранее неизвестными задачами) не позволяет рассматривать РРТС как исключительно кибер-систему. Присутствие в кортеже r_i , описывающего состояние i -го агента, как вектора параметров физического состояния ϕ_{ri} , так и вектора состояния информационного обеспечения ρ_{ri} , обуславливает необходимость рассмотрения РРТС как киберфизической системы. Для моделирования функции f_ρ перехода вектора ρ состояния информационного обеспечения агентов в работе предлагается модель описания киберфизического пространства РРТС.

В предлагаемой модели учитываются следующие особенности процесса функционирования РРТС:

1. Каждый компонент физического и информационного состояния агентов и задач является зависимым от времени. Информационное обеспечение агентов устаревает с течением времени. Информация об одних и тех же объектах (задачах и агентах РРТС) у различных агентов может отличаться. В данном случае необходимо использовать информацию, имеющую более позднюю метку времени.

2. Все агенты РРТС обмениваются информацией при любой возможности.

3. Функция f_ρ перехода должна учитывать возможность обнаружения новых задач.

4. Возможность появления новых задач, выхода из строя или добавления новых агентов РРТС требует актуализации результатов распределения и планирования задач.

5. Устаревание информационного обеспечения агентов требует повторного распределения и планирования задач при наступлении некоторых событий-триггеров.

В рамках предлагаемой модели информация о задачах и агентах РРТС обладает следующими особенностями:

- отсутствует централизованное хранилище актуальной, полной и достоверной информации;

- вся информация распределенно хранится в одноранговой сети агентов РРТС, обладающей неполной связностью;

- при каждой возможности агенты связываются друг с другом для взаимной актуализации информации, которой они обладают;

- необходимо наличие алгоритмов слияния информации и достижения консенсуса о наиболее полной информации.

Перечисленные особенности обуславливают неприменимость классической модели с централизованным хранением информации и необходимость использования модели распределенного реестра (РР). Общим ресурсом является информация о решаемых задачах [16]. Дополнительным фактором, указывающим на перспективность использования РР в РРТС, является сходство базовых принципов организации РРТС с принципами построения распределенных систем хранения и обработки данных: децентрализация, одноранговость, масштабируемость [17]. Информационное обеспечение каждого агента может быть представлено как набор реестров. При централизованном запуске агенты обладают идентичными копиями данных реестров. Отличием РРТС от классического РР на основе интернет-технологий является отсутствие постоянной и общей сети. В процессе функционирования за счет ограниченных областей видимости и связи реестры агентов накапливают отличия. Для распространения информации используется следующая модель. Агенты перемещаются в соответствии с выбранной траекторией, по пути связываясь со всеми доступными агентами. При движении агенты собирают информацию во все реестры. При распространении информации агенты распространяют информацию и метаданные о количестве дубликатов и пр.

При выполнении некоторых условий, например попадании ранее неизвестной агенту задачи τ_j в зону видимости v_i агента r_i , задача τ_j включается в список известных агенту задач:

$$\mathcal{T}_i(t') = \mathcal{T}_i(t) \cup \{\tau_j\}. \quad (21)$$

В дальнейшем данная задача τ_j может попасть в списки известных задач других агентов при обмене информацией с агентом r_i , обнаружившим ее.

Предполагается, что после завершения задачи τ_j ее статус не может вновь измениться на «не выполнена». Поэтому при информационном обмене i -го и k -го агентов актуализация информации о состоянии задач может быть выполнена согласно следующему выражению:

$$d_i(t') = d_k(t') = d_i(t) \vee d_k(t). \quad (22)$$

ПРЕДЛАГАЕМЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Для учета введенных в моделях описания переменных состояния помимо таких критериев оценки эффективности, как суммарная длина пути q_d , суммарное время ожидания q_w и количество выполненных задач q_k , также могут дополнительно использоваться следующие критерии оценки эффективности планирования и распределения задач в РРТС:

1. Доля выполненных задач:

$$q_d = \frac{\sum_{j=1, m} d_{\tau_j}}{|\mathcal{T}|}, \quad (23)$$

где $d_{\tau_j} \in \{0; 1\}$ – статус завершенности задачи τ_j ; \mathcal{T} – множество всех задач.

Данный критерий рассчитывается в момент, когда РРТС полагает цель достигнутой и прекращает работу.

2. Осведомленность РРТС обо всех задачах. В качестве метрики данного критерия может использоваться следующее выражение:

$$q_a = \frac{\sum(t_f - t_j)}{|\mathcal{T}|t_f}, \quad (24)$$

где t_j – время обнаружения j -й задачи; t_f – общее время функционирования РРТС; \mathcal{T} – множество всех задач.

3. Частота формирования управляющих воздействий. Данный критерий косвенно учитывает вычислительную сложность работы метода управления.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для проверки предложенных моделей описания и критериев оценки эффективности распределения и планирования задач в РРТС была выполнена компьютерная симуляция. Для проведения эксперимента был разработан симулятор на языке Python. Визуализация положения задач и РРТС во внешней среде выполнена с помощью библиотеки Matplotlib. При проведении симуляции был использован компьютер со следующими характеристиками: процессор Intel Core i7-8550U с тактовой частотой 1,8 ГГц, 8 ГБ оперативной памяти.

В ходе симуляции в виртуальную внешнюю среду помещались n агентов РРТС, m_1 известных задач и m_2 неизвестных задач. Пример визуализации начального состояния симулятора приведен на рисунке 2.

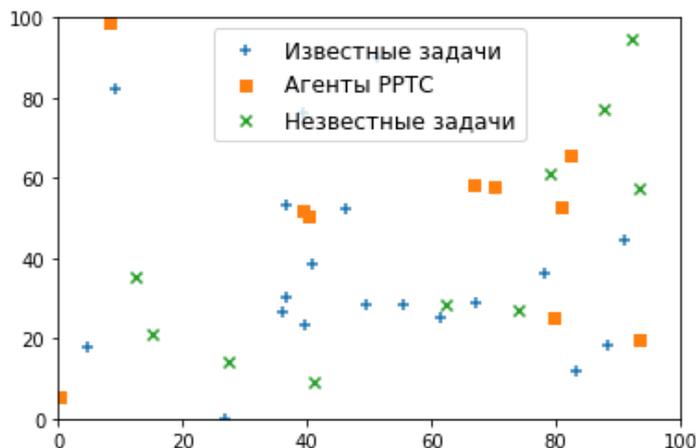


Рис. 2. Визуализация работы симулятора

Fig. 2. Visualization of the simulator work

Для выполнения распределения и планирования задач использовался метод на основе жадного алгоритма, согласно которому каждый агент РРТС выбирает задачу, ближайшую к нему. После движения и выполнения выбранной задачи или в случае ее завершения другим агентом рассматриваемый агент РРТС переходит к следующей ближайшей задаче и т.д.

В ходе экспериментального исследования была выполнена симуляция процесса распределения и планирования задач в РРТС с использованием предложенных моделей описания, а также модели-аналога [21]. Так как в модели-аналоге не подразумевается существование неизвестных задач, при симуляции с ее использованием на вход жадного алгоритма подавалась информация только об известных задачах. При симуляции с использованием предложенных моделей на вход жадного алгоритма подавалась информация об изначально известных задачах, а также об изначально неизвестных задачах, обнаруженных агентами РРТС в процессе движения к известным задачам. В ходе симуляции принималось, что изначально неизвестная задача становится известной, если попадает в окрестность агента РРТС радиуса l_r . При обнаружении новых задач агентами РРТС алгоритм распределения и планирования задач выполнялся повторно. Для получения статистически достоверных результатов симуляция была проведена k раз для каждой модели описания. Значения параметров проведения симуляции приведены в таблице 1.

Таблица 1. Условия проведения симуляции

Table 1. Simulation Conditions

Наименование параметра	Значение
Размер внешней среды l , м	100
Количество агентов РРТС n , ед.	10
Количество известных задач m_1 , ед.	20
Количество неизвестных задач m_2 , ед.	10
Радиус области видимости агентов РРТС l_r , м	2
Количество экспериментальных запусков k , ед.	1000

После каждого экспериментального запуска была выполнена оценка эффективности распределения и планирования задач в РРТС с помощью существующих и предложенных критериев. Усредненные по всем экспериментальным запускам результаты оценки эффективности приведены в таблице 2. Вследствие малой вычислительной сложности

используемых моделей описания время выполнения эксперимента и затраты памяти незначительны.

Таблица 2. Результаты эксперимента

Table 2. Experiment results

Критерий	Модель-аналог	Предложенные модели описания
Пройденная дистанция, м (существующий критерий)	624,8	662,3
Время выполнения глобальной задачи, с (существующий критерий)	136,7	151,3
Доля выполненных задач, ед. (предложенный критерий)	0,67	0,93
Осведомленность РРТС, ед. (предложенный критерий)	0,67	0,84

Как следует из результатов эксперимента, при использовании предложенных моделей описания достигается более высокое значение доли выполненных задач и осведомленности РРТС обо всех задачах. Для условий проведения симуляции, приведенных в таблице 1, при использовании предложенных моделей достигнуто повышение доли выполненных задач на 38,8 % (0,93 против 0,67) и осведомленности РРТС обо всех задачах на 25,4 % (0,84 против 0,67) по сравнению с существующими моделями описания при использовании одного и того же алгоритма распределения и планирования задач. Таким образом, результаты эксперимента демонстрируют полезность предложенных моделей описания и критериев оценки эффективности с точки зрения более детального анализа существующих методов и алгоритмов распределения и планирования задач в РРТС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существующие модели описания и критерии оценки эффективности распределения и планирования задач в РРТС не учитывают следующие особенности функционирования РРТС в недетерминированной среде:

- переменное количество агентов РРТС вследствие возможности выхода из строя части агентов или введения дополнительных агентов для повышения результативности выполнения глобальной задачи РРТС;
- помимо полного выхода из строя какого-либо агента, возможен также отказ только части его бортовых систем;
- переменное количество задач вследствие динамически изменяющихся обстоятельств и неполноты информации в начале выполнения глобальной задачи;
- ограниченная коммуникация между агентами РРТС обуславливает невозможность получения полной информации об актуальном состоянии всех задач и агентов РРТС при распределении и планировании задач;
- ограниченные вычислительные ресурсы агентов РРТС могут не позволить хранить и обрабатывать всю доступную информацию о задачах и агентах РРТС.

Неполнота и распределенный характер информации требуют рассматривать информационное поле РРТС как киберфизическое пространство, а РРТС – как частную реализацию распределенного реестра. На основе данной идеи в работе предложены модели описания и критерии оценки эффективности распределения и планирования задач в РРТС, которые включают в себя следующие особенности:

- распределения изначально неизвестных задач;
- необходимость включения в набор переменных состояния РРТС не только физических характеристик ее агентов, но также и состояния их информационной обеспеченности;
- необходимость моделирования процесса распространения информации, ограниченного свойствами динамически изменяющейся топологии и пропускной способности каналов связи.

На основе предложенных моделей и критериев оценки эффективности эффективность существующих методов распределения и планирования задач в РРТС может быть оценена с помощью численных статистических методов, таких как метод Монте-Карло. Ожидается, что предложенные модели описания и критерии оценки эффективности будут полезны исследователям при разработке соответствующих методов распределения и планирования задач в РРТС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cho J., Lim G., Biobaku T., Kim S., Parsaei H.* Safety and Security Management with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in Oil and Gas Industry // *Procedia Manufacturing*. 2015. Vol. 3. Pp. 1343–1349.
2. *Васильев И. А., Половко С. А., Смирнова Е. Ю.* Организация группового управления мобильными роботами для задач специальной робототехники // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. 2013. № 1(164). С. 119–123.
3. *Dai W., Lu H., Xiao J., Zeng Z., Zheng Z.* Multi-Robot Dynamic Task Allocation for Exploration and Destruction // *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2020. Vol. 98. No. 5. Pp. 455–479. DOI: 10.1007/s10846-019-01081-3.
4. *Ismail Z. H., Mohd G.M. H.* Systematic Literature Review of Swarm Robotics Strategies Applied to Target Search Problem with Environment Constraints // *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11. No. 5. Pp. 1–6.
5. *Khamis A., Hussein A., Elmogy A.* Multi-robot Task Allocation: A Review of the State-of-the-Art // *Cooperative Robots and Sensor Networks*. 2015. P. 31–51.
6. *Пушхонов В. Х., Медведев М. Ю.* Групповое управление движением мобильных роботов в неопределенной среде с использованием неустойчивых режимов // *Труды СПИИРАН*. 2018. Т. 60. № 5. С. 39–63.
7. *Petrenko V. I., Tebueva F. B., Ryabtsev S. S., Gurchinsky M. M., Struchkov I. V.* Consensus achievement method for a robotic swarm about the most frequently feature of an environment // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 919. No. 4. Pp. 1–6.
8. *Yusupova N., Rizvanov D., Andrushko D.* Cyber-Physical Systems and Reliability Issues // *Proceedings of the 8th Scientific Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS 2020)*. Atlantis Press, 2020. Pp. 133–137.
9. *Петренко В. И., Тебуева Ф. Б., Гурчинский М. М., Рябцев С. С.* Анализ технологий обеспечения информационной безопасности мультиагентных робототехнических систем с роевым интеллектом // *Наука и бизнес: пути развития*. 2020. № 4(106). С. 96–99.
10. *Каляев И. А., Гайдук А. Р., Капустян С. Г.* Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. Москва: Физматлит, 2009. 280 с.
11. *Mahmoud Zadeh S., Powers D.M. W., Bairam Zadeh R.* State-of-the-Art in UAVs' Autonomous Mission Planning and Task Managing Approach // *Autonomy and Unmanned Vehicles: Augmented Reactive Mission and Motion Planning Architecture*. Singapore: Springer Singapore. 2019. Pp. 17–30.
12. *Петренко В. И., Тебуева Ф. Б., Павлов А. С., Стручков И. В.* Анализ рисков нарушения информационной безопасности в роевых робототехнических системах при масштабировании численности агентов // *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. 2022. № 2. С. 92–109.
13. *Sujit P.B., Kingston D., Beard R.* Cooperative forest fire monitoring using multiple UAVs // *Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control*. 2007. Pp. 4875–4880.
14. *Kalyaev I., Kapustyan S., Ivanov D., Korovin I., Usachev L., Schaefer G.* A novel method for distribution of goals among UAVs for oil field monitoring // *2017 6th International Conference*

on Informatics, Electronics and Vision and 2017 7th International Symposium in Computational Medical and Health Technology, ICIEV-ISCMT 2017. 2017. Pp. 1–4.

15. *Chen X., Zhang P., Li F., Du G.* A cluster first strategy for distributed multi-robot task allocation problem with time constraints // 2018 WRC Symposium on Advanced Robotics and Automation (WRC SARA). 2018. Pp. 102–107.

16. *Пилюхов В. Х.* Групповое управление подвижными объектами в неопределенных средах. Москва: Физматлит, 2015. 305 с.

17. *Еськов С. С.* Специальное математическое и программное обеспечение взаимного информационного согласования в системах распределенного реестра: дис. ... канд. техн. наук. Воронежский государственный технический университет. Воронеж, 2020. 120 с.

18. *Запечников С. В.* Системы распределенного реестра как инструмент обеспечения доверия между участниками бизнес-процессов // Безопасность информационных технологий. 2019. Т. 26. № 4. С. 37–53.

19. *Сырямкин В. И.* Коллективы интеллектуальных роботов. Сферы применения / под ред. В. И. Сырямкина. Томск: STT, 2018. 140 с.

20. *Жуков А. О., Куликов А. К., Суворцева И. В.* Распределение задач в группе гетерогенных роботов на основе принципа «аукциона Викри» // Робототехника и техническая кибернетика. 2018. № 4(21). С. 36–40.

21. *Motes J., Sandström R., Lee H., Thomas S., Amato N.M.* Multi-Robot Task and Motion Planning With Subtask Dependencies // IEEE Robotics and Automation Letters. 2020. Vol. 5. No. 2. Pp. 3338–3345.

22. *Schneider E., Sklar E.I., Parsons S.* Mechanism selection for multi-robot task allocation // Annual Conference Towards Autonomous Robotic Systems. 2017. Pp. 421–435.

23. *Luo L., Chakraborty N., Sycara K.* Distributed algorithms for multirobot task assignment with task deadline constraints // IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. 2015. Vol. 12. No. 3. Pp. 876–888.

24. *Seenu N., Kuppan Chetty R.M., Ramya M.M., Janardhanan M.N.* Review on state-of-the-art dynamic task allocation strategies for multiple-robot systems // Industrial Robot. 2020. Vol. 47. No. 6. Pp. 929–942.

25. *Безумнов Д. Н., Воронова Л. И.* О распределении задач в групповой робототехнике. Инновационное развитие: потенциал науки и современного образования: монография. Пенза: Наука и Просвещение, 2021. С. 155–170.

Информация об авторах

Петренко Вячеслав Иванович, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой организации и технологии защиты информации, Северо-Кавказский федеральный университет;

355017, Россия, Ставрополь, ул. Пушкина, 1;

vip.petrenko@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4293-7013>

Тебуева Фариза Биляловна, д-р физ.-мат. наук, доцент, зав. кафедрой компьютерной безопасности, Северо-Кавказский федеральный университет;

355017, Россия, Ставрополь, ул. Пушкина, 1;

fbtebueva@ncfu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7373-4692>

Павлов Андрей Сергеевич, ст. преподаватель кафедры компьютерной безопасности, Северо-Кавказский федеральный университет;

355017, Россия, Ставрополь, ул. Пушкина, 1;

iosde5530@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8413-8706>

Гурчинский Михаил Михайлович, программист учебно-научной лаборатории «Робототехнические системы», Северо-Кавказский федеральный университет;

355017, Россия, Ставрополь, ул. Пушкина, 1;

gurcmikhail@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1739-2624>

REFERENCES

1. Cho J., Lim G., Biobaku T., Kim S., Parsaei H. Safety and Security Management with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in Oil and Gas Industry. *Procedia Manufacturing*. 2015. Vol. 3. Pp. 1343–1349.
2. Vasilyev I.A., Polovko S.A., Smirnova E.Yu. A Group of Mobile Robot Organization for Special Robotics Problems. *Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikacii. Upravlenie* [Scientific and technical bulletin of SPbSPU. Computer science. Telecommunications. Control]. 2013. No. 1(164). Pp. 119–123. (In Russian)
3. Dai W., Lu H., Xiao J., Zeng Z., Zheng Z. Multi-Robot Dynamic Task Allocation for Exploration and Destruction. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2020. Vol. 98. No. 5. Pp. 455–479.
4. Ismail Z.H., Mohd G.M.H. Systematic Literature Review of Swarm Robotics Strategies Applied to Target Search Problem with Environment Constraints. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11. No. 5. Pp. 1–6.
5. Khamis A., Hussein A., Elmogy A. Multi-robot Task Allocation: A Review of the State-of-the-Art. *Cooperative Robots and Sensor Networks*. 2015. Pp. 31–51.
6. Pshihopov V.Kh., Medvedev M.Yu. Group Control of Autonomous Robots Motion in Uncertain Environment via Unstable Modes. *Robotics, Automation and Control Systems*. 2018. Vol. 60. No. 5. Pp. 39–63. (In Russian)
7. Petrenko V.I., Tebueva F.B., Ryabtsev S.S., Gurchinsky M.M., Struchkov I.V. Consensus achievement method for a robotic swarm about the most frequently feature of an environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 919. No. 4. Pp. 1–6.
8. Yusupova N., Rizvanov D., Andrushko D. Cyber-Physical Systems and Reliability Issues. *Proceedings of the 8th Scientific Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS 2020)*. Atlantis Press, 2020. Pp. 133–137.
9. Petrenko V.I., Tebueva F.B., Gurchinsky M.M., Ryabtsev S.S. Analysis of Information Security Technologies for Multi-Agent Robotic Systems with Swarm Intelligence. *Science and Business: Development Ways*. 2020. No. 4(106). Pp. 96–99. (In Russian)
10. Kaljaev I.A., Gajduk A.R., Kapustjan S.G. *Modeli i algoritmy kollektivnogo upravlenija v gruppah robotov* [Collective control models and algorithms in groups of robots]. Moscow: Fizmatlit, 2009. 280 p. (In Russian)
11. Mahmoud Zadeh S., Powers D.M.W., Bairam Zadeh R. State-of-the-Art in UAVs' Autonomous Mission Planning and Task Managing Approach. *Autonomy and Unmanned Vehicles: Augmented Reactive Mission and Motion Planning Architecture*. Singapore: Springer Singapore. 2019. Pp. 17–30.
12. Petrenko V.I., Tebueva F.B., Pavlov A.S., Struchkov I.V. Analysis of risks of information security breach in swarm robotic devices when scaling the number of agents. *Caspian Journal of Management and High Technologies*. 2022. Vol. 2. Pp. 92–109. (In Russian)
13. Sujit P.B., Kingston D., Beard R. Cooperative forest fire monitoring using multiple UAVs. *Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control*. 2007. Pp. 4875–4880.
14. Kalyaev I., Kapustyan S., Ivanov D., Korovin I., Usachev L., Schaefer G. A novel method for distribution of goals among UAVs for oil field monitoring. *2017 6th International Conference on Informatics, Electronics and Vision and 2017 7th International Symposium in Computational Medical and Health Technology, ICIEV-ISCMHT 2017*. 2018. Pp. 1–4.
15. Chen X., Zhang P., Li F., Du G. A cluster first strategy for distributed multi-robot task allocation problem with time constraints. *2018 WRC Symposium on Advanced Robotics and Automation (WRC SARA)*. 2018. Pp. 102–107.
16. Pshihopov V. Kh. *Grupповоуе управленіе подвижными об'ектами в неопределенных средах* [Group control of mobile objects in indefinite environments]. Moscow: Fizmatlit, 2015. 305 p. (In Russian)

17. Eskov S.S. Special mathematical and software support for mutual information coordination in distributed ledger systems: Ph.D. Thesis. *Voronezh State Technical University*. Voronezh, 2020. 120 p. (In Russian)
18. Zapechnikov S.V. Distributed ledger systems as a tool for ensuring trust between participants in business processes. *Security of Information Technologies*. 2019. Vol. 26. No. 4. Pp. 37–53. (In Russian)
19. Syryamkin V.I. *Kollektivy intellektual'nyh robotov. Sfery primeneniya* [Collectives of intelligent robots. Spheres of application]. Tomsk: STT, 2018. 140 p. (In Russian)
20. Zhukov A.O., Kulikov A.K., Surovtceva I.V. Task distribution in a group of heterogeneous robots based on Vickrey auction principle. *Robotics and technical cybernetics*. 2018. Vol. 4. No. 21. Pp. 36–40. (In Russian)
21. Motes J., Sandström R., Lee H., Thomas S., Amato N. M. Multi-Robot Task and Motion Planning With Subtask Dependencies. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2020. Vol. 5. No. 2. Pp. 3338–3345.
22. Schneider E., Sklar E.I., Parsons S. Mechanism selection for multi-robot task allocation. *Annual Conference Towards Autonomous Robotic Systems*. 2017. Pp. 421–435.
23. Luo L., Chakraborty N., Sycara K. Distributed algorithms for multirobot task assignment with task deadline constraints. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 2015. Vol. 12. No. 3. Pp. 876–888.
24. Seenu N., Kuppan Chetty R.M., Ramya M.M., Janardhanan M.N. Review on state-of-the-art dynamic task allocation strategies for multiple-robot systems. *Industrial Robot*. 2020. Vol. 47. No. 6. Pp. 929–942.
25. Bezumnov D.N., Voronova L.I. *O raspredelenii zadach v gruppovoj robototekhnike* [On task distribution in group robotics]. *Innovacionnoe razvitie: potencial nauki i sovremennogo obrazovaniya: monografija*. Penza: Nauka i Prosveshhenie, 2021. Pp. 155–170. (In Russian)

Information about the authors

- Petrenko Vyacheslav Ivanovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Organization and Technology of Information Security, North-Caucasus Federal University; 355017, Russia, Stavropol, 1 Pushkin street; vip.petrenko@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4293-7013>
- Tebueva Fariza Bilyalovna**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Computer Security, North-Caucasus Federal University; 355017, Russia, Stavropol, 1 Pushkin street; ftebueva@ncfu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7373-4692>
- Pavlov Andrey Sergeevich**, Senior Lecturer, Department of Computer Security, North-Caucasus Federal University; 355017, Russia, Stavropol, 1 Pushkin street; losde5530@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8413-8706>
- Gurchinsky Mikhail Mikhailovich**, Programmer of the educational and scientific laboratory "Robotic Systems", North-Caucasus Federal University; 355017, Russia, Stavropol, 1 Pushkin street; gurmikhail@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1739-2624>

Формирование динамических причинно-следственных зависимостей при управлении поведением интеллектуального агента на основе формализма мультиагентных нейрокогнитивных архитектур*

И. А. Пшенокова^{1,2}, О. В. Нагоева², А. З. Апшев², А. З. Энес²

¹ Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2

² Институт информатики и проблем регионального управления –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

Аннотация. Перспективные интеллектуальные системы принятия решений должны обеспечивать построение причинно-следственных связей между событиями в условиях неопределенности, связанной с недостоверными и неполными знаниями, приводящей к невозможности предсказать точные последствия принятого решения при множестве вариантов выбора. В таких случаях очень важно учитывать корреляционную связь между причиной и следствием. Известно, что в основе причинно-следственного вывода лежит представление всех возможных альтернативных сценариев, которое позволяет планировать и манипулировать действиями в процессе принятия решений. В работе представлена имитационная модель формирования динамических причинно-следственных зависимостей для управления поведением автономного интеллектуального агента на основе нейрокогнитивных архитектур. Рассмотрены мультиагентная структура агентов событиями типа и процесс формирования причинно-следственных зависимостей путем заключения или расторжения мультиагентных контрактов. Проведен эксперимент по обучению автономного интеллектуального агента, прогнозированию последствий различных действий в текущих обстоятельствах.

Ключевые слова: интеллектуальный агент, причинно-следственная связь, корреляция, мультиагентные системы, нейрокогнитивная архитектура

Поступила 09.08.2022, одобрена после рецензирования 15.09.2022, принята к публикации 20.09.2022

Для цитирования. Пшенокова И. А., Нагоева О. В., Апшев А. З., Энес А. З. Формирование динамических причинно-следственных зависимостей при управлении поведением интеллектуального агента на основе формализма мультиагентных нейрокогнитивных архитектур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 73–80. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-73-80

MSC: 68T42

Original article

Formation of dynamic cause-and-effect relationships when controlling the behavior of an intelligent agent based on the multi-agent neurocognitive architectures formalism*

I.A. Pshenokova^{1,2}, O.V. Nagoeva², A.Z. Apshev², A.Z. Enes²

¹ Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street

² Institute of Computer Science and Problems of Regional Management –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street

© Пшенокова И. А., Нагоева О. В., Апшев А. З., Энес А. З., 2022

* Работа выполнена при поддержке проекта РФФ № 22-19-00787

* The work was supported by the Russian Science Foundation project No. 22-19-00787

Annotation. Promising intelligent decision-making systems should ensure the construction of cause-and-effect relationships between events under conditions of uncertainty associated with unreliable and incomplete knowledge, leading to the inability to predict the exact consequences of the decision taken with a variety of choices. In such cases, it is very important to take into account the correlation between cause and effect. It is known that the basis of the causal inference is the representation of all possible alternative scenarios, which allows to plan and manipulate actions in the decision-making process. The paper presents a simulation model for the formation of dynamic cause-and-effect relationships to control the behavior of an autonomous intelligent agent based on neurocognitive architectures. The multi-actor structure of event-type agneurons and the process of formation of cause-and-effect dependencies by concluding or terminating multi-agent contracts are considered. An experiment was conducted to train an autonomous intelligent agent, to predict the consequences of various actions in the current circumstances.

Key words: intelligent agent, causation, correlation, multi-agent systems, neurocognitive architecture

Submitted 09.08.2022,

approved after reviewing 15.09.2022,

accepted for publication 20.09.2022

For citation. Pshenokova I.A., Nagoeva O.V., Apshev A.Z., Enes A.Z. Formation of dynamic cause-and-effect relationships when controlling the behavior of an intelligent agent based on the multi-agent neurocognitive architectures formalism. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 5 (109). Pp. 73–80. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-73-80

ВВЕДЕНИЕ

Основной частью процесса мышления является возможность принимать решения в условиях неопределенности [1–3]. Под неопределенностью понимается невозможность предсказать точные последствия своего решения при множестве вариантов выбора. Поэтому важно учитывать корреляционную связь между действиями и последствиями или причиной и следствием. Согласно теории принятия решений фон Неймана-Моргенштерна, если рациональному агенту, принимающему решение, известна эта корреляционная связь, он выбирает действие, которое максимизирует ожидаемую полезность [4]. С другой стороны, если агент не знает вероятности наступления определенных следствий на некоторые действия, ему необходимо, опираясь на собственный опыт, выбрать такое действие, которое максимизирует ожидаемую полезность с большей вероятностью [5–7]. Далее, взаимодействуя с окружающей средой, агент может обновить свои количественные оценки неопределенностей в соответствии с наблюдаемыми данными для улучшения решения [6, 8]. В свою очередь знание причинно-следственных связей наделяет агента способностью к превентивному планированию, поскольку он может предсказать, к чему приведут определенные действия [9, 10].

В работах [11–14] утверждается, что человеческий мозг на базовом уровне представляет собой аппарат каузального вывода, который использует следствия для выяснения причин. В [3] указывается, что в основе причинно-следственного вывода лежит представление всех возможных альтернативных сценариев, которое позволяет планировать и манипулировать действиями в процессе принятия решений [15]. В работе [16] предполагается, что автономный агент может обучаться и строить причинно-следственные связи, взаимодействуя с неструктурированной средой до тех пор, пока не запомнит все неизвестные связи. Такой способ обучения состоит в том, чтобы записать ему предположения о неструктурированной среде. Эти предположения принимаются за истинную причинно-следственную модель, а затем в процессе наблюдения и обучения обновляются и закрепляются.

Согласно [3] существует три уровня причинно-следственных рассуждений. Первый – наблюдение, предполагает восприятие закономерностей или паттернов во входных данных, выраженных в виде корреляций. Второй уровень – манипуляции, предсказывает последствия преднамеренных действий, выраженных в виде причинно-следственных связей. Третий уровень – контрфактуал, включает в себя построение теории, которая объясняет, почему конкретные действия имеют конкретные эффекты и что происходит в отсутствие таких действий. Важно отметить, что хотя обычно в причинно-следственных связях причина предшествует во времени следствию, это не обязательно должно быть общим правилом.

Причинно-следственное знание поддерживает принятие решений двумя способами: позволяет прогнозировать последствия различных действий в текущих обстоятельствах и выбрать в дереве решений путь, субоптимальный по критерию максимизации суммарной энергии агента [17].

Цель работы состоит в повышении обоснованности принимаемых решений интеллектуальной системой за счет построения причинно-следственных зависимостей между событиями в условиях неопределенности.

Задача исследования – разработать подход к формированию динамических причинно-следственных зависимостей для управления поведением автономного агента.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ НЕЙРОКОГНИТИВНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

В [17, 18] представлен мультиагентный нейрокогнитивный подход к проектированию интеллектуальных систем принятия решений и введено понятие интеллектуального агента. Интеллектуальный агент, представленный в виде мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры, состоит из множества агентов-нейронов (агнейроны), которые в свою очередь состоят из агентов-актеров (актеры), объединенных в функциональные узлы, взаимодействующих друг с другом и синтезирующих собственное поведение.

В соответствии с [19] структуру поведенческого акта различной степени сложности формируют следующие функциональные узлы: распознавания, моделирования, эмоциональной оценки, целеполагания, синтеза плана действий, управления выполнением плана. Следовательно, для управления поведением автономного интеллектуального агента нужно в нейрокогнитивной архитектуре создать и обучить функциональные узлы, которые выполняют синтез поведения этого агента в различных проблемных ситуациях [18].

Для прогнозирования своего поведения и поиска оптимального пути в дереве решений интеллектуальный агент должен уметь устанавливать причинно-следственные связи между событийными нейронами. Когда на вход интеллектуальный агент получает некоторую информацию о своем текущем состоянии, в архитектуре формируются концептуальные агнейроны, которые констатируют мультиагентный факт наступления данного события в виде агнейрона событийного типа. Этот агнейрон должен запросить желаемое событие у других агнейронов этого типа путем массовой рассылки сообщений вида «Кто купит информацию?» для установления своей причины или следствия. После такой рассылки агент формирует множество мультиагентных связей, и не обязательно каждая из них является его причиной или следствием. Поиск причины и следствия агнейроном осуществляется путем заключения или расторжения мультиагентных контрактов.

На рисунке 1 представлена мультиакторная структура агнейронов событийного типа.

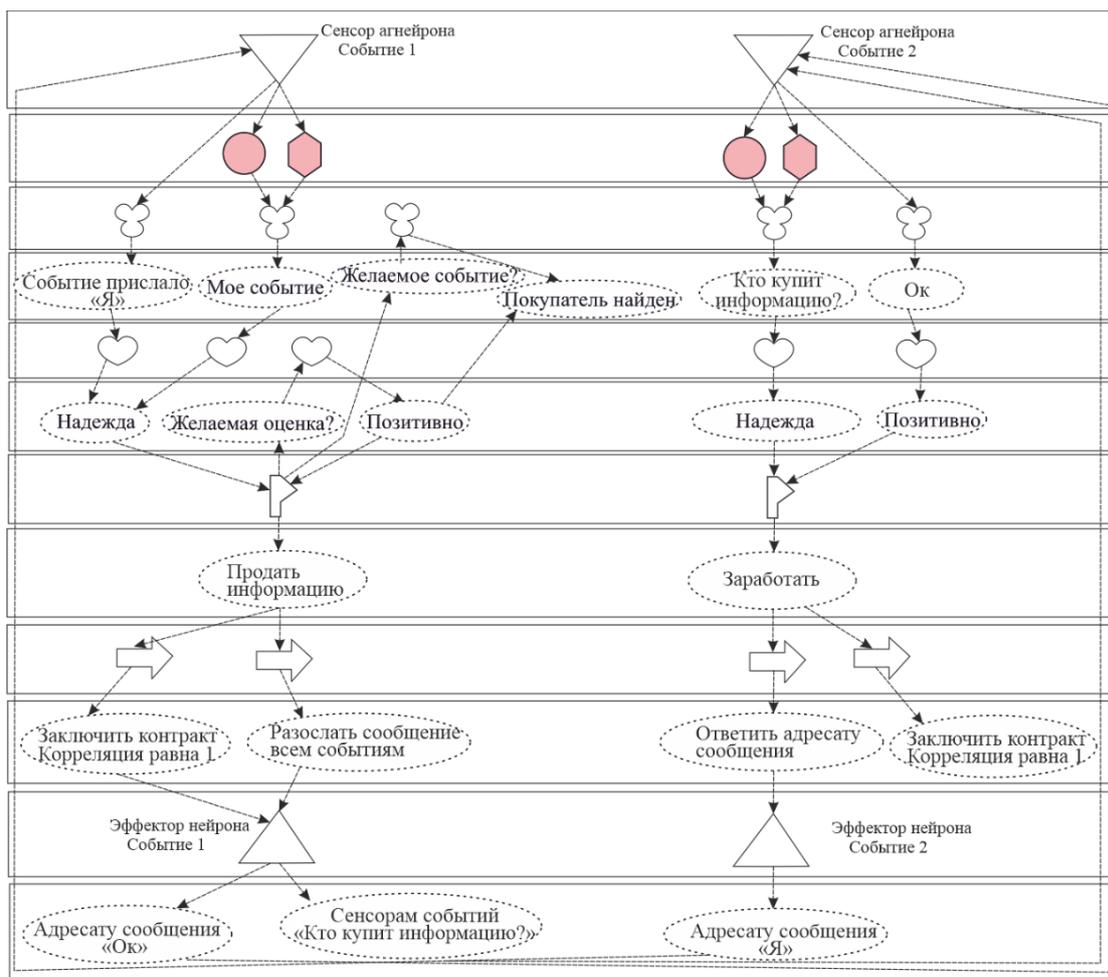
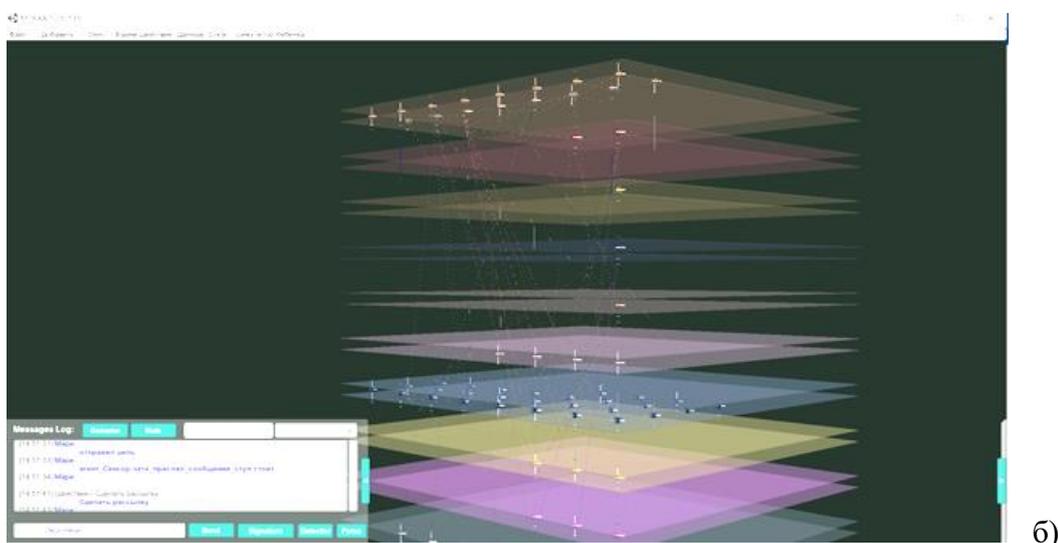
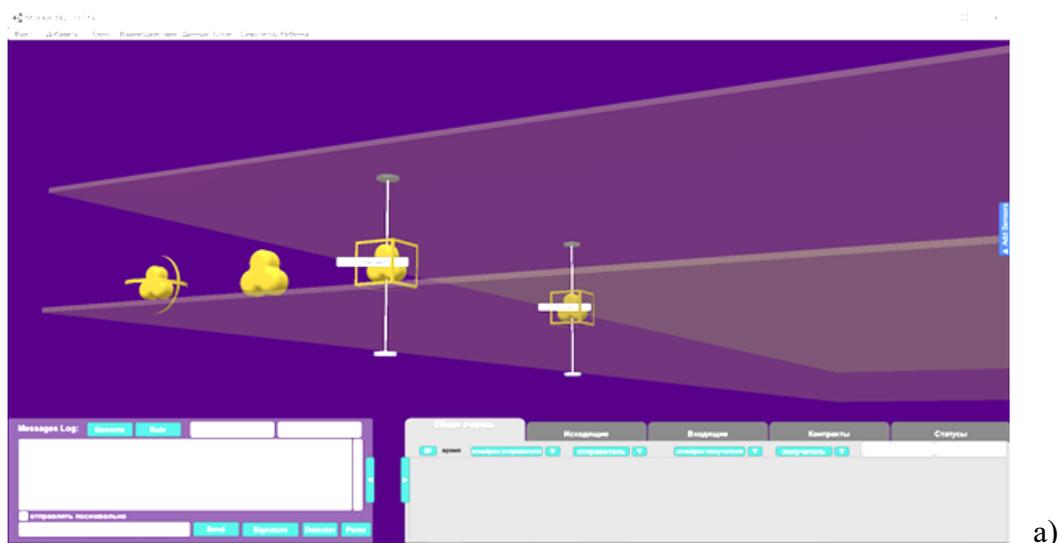


Рис. 1. Мультиакторная структура агнейронов, условно названных «Событие 1» и «Событие 2»

Fig. 1. Multi-actor structure of agneurons, conventionally named "Event 1" and "Event 2"

Рассмотрим процесс формирования причинно-следственной зависимости путем заключения или расторжения мультиагентных контрактов. В ответ на входное значение когнитивный узел распознавания (2-й слой рис. 1) формирует представление в виде концептуальных акторов, отвечающих за обработку поступившей информации. Далее когнитивный узел моделирования формирует текущее состояние в виде мультиагентного факта (3-й слой). Данный факт получает эмоциональную оценку на следующем функциональном уровне (5-й слой), и агнейрон, отвечающий за текущее состояние, рассматривается как событие-причина, для которой нужно найти агнейрон событие-следствие. Если событие-причина получило эмоциональную оценку в сторону увеличения собственной энергии, активизируется когнитивный узел целеполагания (7-й слой), в котором формируются желаемая оценка, соответствующее ей конечное событие и горизонт планирования. Эти данные передаются на вход когнитивного узла плана действий (9-й слой), который формирует действия, необходимые для того, чтобы связать текущее событие с конечным событием. Но таких событий может быть множество. И агнейрон путем рассылки массовых сообщений формирует множество динамических связей с возможными агнейронами событий. В следующий раз для прохождения по каждому из путей в образовавшемся множестве вводится оценка степени корреляции знаний, полученных в результате формирования динамических связей. Коэффициент корреляции вычисляется отношением числа позитивных срабатываний событий-контрагентов на общее число событий.

Если некоторому входному событию соответствует несколько событий-следствия, агнейроны, отвечающие за эти следствия, сигнализируют для получения вознаграждения. Когда агнейрон, отвечающий за событие-причина, объявляет о вознаграждении, он находит своих контрагентов, затем формируются моделирующие агнейроны, содержащие в себе событие-причину и соответствующее ему событие-следствие. В результате экспериментов, тестирующих эти решения, происходят обучение агента и оценка степени корреляции полученного знания. При увеличении или уменьшении коэффициента корреляции ослабевает или укрепляется мультиагентный контракт и соответственно добавляются или исключаются логические условия в разных частях знания, происходит динамическое укрепление или разрыв связей между агентами. Важно отметить, что такое свойство мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры сходно со свойством нейропластичности структур головного мозга, при котором происходит формирование или разрыв аксо-дендрональных связей [22]. На рисунке 2 представлены примеры визуализации мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры при проведении эксперимента по обучению автономного агента и построению причинно-следственных зависимостей между событиями в разработанном программном модуле имитационного моделирования. В частности, на рис. 2 а представлены два агнейрона типа события, на рис. 2 б – мультиакторная структура агнейрона «Событие 1», на рис. 2 в – процесс формирования желаемой оценки, соответствующего ей конечного события и горизонт планирования.



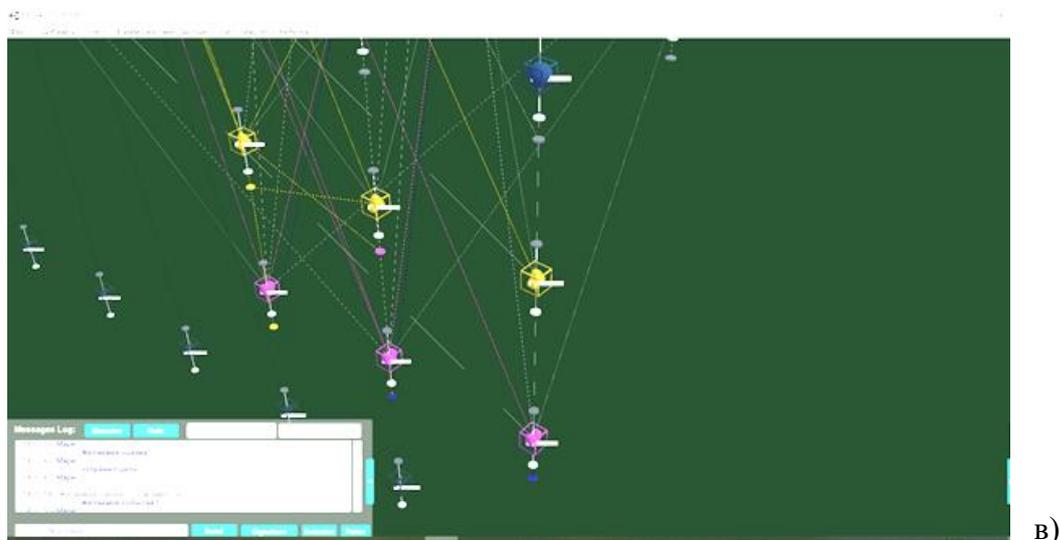


Рис. 2 (а-в). Имитационный эксперимент по обучению автономного интеллектуального агента
Fig. 2 (a-b). Simulation experiment for training an autonomous intelligent agent

Таким образом, событие-причина и событие-следствие представлены агнейронами, каждый из которых обладает знаниями, описывающими соответствующую причинно-следственную зависимость. Эти агнейроны при повторяемости причины и/или следствия объединяют свои части знаний путем заключения взаимовыгодного мультиагентного контракта. Если наступило текущее событие и на это событие есть контрагент агнейрон-следствие, интеллектуальный агент обучается, что позволяет прогнозировать последствия различных действий в текущих обстоятельствах и выбрать в дереве решений субоптимальный путь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлен подход к формированию динамических причинно-следственных зависимостей для управления поведением автономного агента. Разработана мультиакторная структура агнейронов событийного типа, представлен процесс формирования причинно-следственной зависимости путем заключения или расторжения мультиагентных контрактов. В результате проведенных экспериментов видно, что интеллектуальный автономный агент способен к прогнозированию последствий различных действий в текущих обстоятельствах.

Информация об авторах

Пшенокова Инна Ауесовна, канд. физ.-мат. наук, зав. лаб. «Интеллектуальные среды обитания», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

вед. науч. сотр. лаборатории «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360002, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2;

pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3394-7682>

Нагоева Ольга Владимировна, науч. сотр. отдела «Мультиагентные системы», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

nagoeva_o@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2341-7960>

Апшев Артур Заурбиевич, стажер-исследователь лаб. «Интеллектуальные среды обитания», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;
artur.apshev@gmail.com

Энес Ахмед Зюлфикар, стажер-исследователь лаб. «Компьютерная лингвистика», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;
ahmedenes@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3633-4910>

REFERENCE

1. Danks D. Unifying the mind: Cognitive representations as graphical models. MIT Press. 2014. 304 p.
2. Lake B.M., Ullman T.D., Tenenbaum J.B., Gershman S.J. Building machines that learn and think like people. *Behavioral and Brain Sciences*. 2017. Vol. 40. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0140525X16001837>
3. Pearl J., Mackenzie D. The Book of Why: The New Science of Cause and Effect. Basic Books. 2018. 432 p.
4. Von Neumann J., Morgenstern O. Theory of games and economic behavior. Princeton University Press. 1944. 776 p.
5. Savage L. The Foundations of Statistics. New York: John Wiley & Sons. 1954. 310 p.
6. Bernardo J. M., Smith A. F. M. Bayesian theory. Wiley Series in Probability and Statistics. 2000. 608 p.
7. Gilboa I. Theory of Decision under Uncertainty. Cambridge University Press. 2009. 230 p.
8. Peterson M. An Introduction to Decision Theory. Cambridge University Press. 2017. 348 p.
9. Spirtes P., Glymour C. N., and Scheines R. Causation, prediction, and search. MIT press. 2000. 546 p.
10. Pearl J. Theoretical impediments to machine learning with seven sparks from the causal revolution. *Proceedings of the Eleventh ACM International Conference on Web Search and Data Mining*. 2018. Vol. 3. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1801.04016>
11. Woodward J. Making things happen: A theory of causal explanation. Oxford Studies in Philosophy of Science. Oxford University Press. 2003. 432 p.
12. Friston K. The free-energy principle: a unified brain theory? *Nature Reviews Neuro science*. 2010. Vol. 11(2). Pp. 127–138.
13. Hohwy J. The predictive mind. Oxford University Press. 2013. 288 p.
14. Clark A. Surfing uncertainty: Prediction, action, and the embodied mind. Oxford University Press. 2015. 424 p.
15. Danks D. Unifying the mind: Cognitive representations as graphical models. MIT Press. 2014. 304 p.
16. Gonzalez-Soto L. E., Sucar H. J. Escalante Playing against Nature: causal discovery for decision making under uncertainty. *arXiv:1807.01268v1 [Artificial Intelligence (cs.AI)]*. 2018. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1807.01268>
17. Nagoev Z.V. *Intellektika, ili Myshleniye v zhivykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intelligence, or thinking in living and artificial systems]. Nalchik: Publishing House of KBSC of RAS. 2013. 213 p. (in Russian)
18. Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., Sundukov Z. Learning algorithm for an intelligent decision making system based on multi-agent neurocognitive architectures. *Cognitive Systems Research*. 2021. Vol. 66. Pp. 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2020.10.015>.

19. Anokhin P.K. *Uzlovyye voprosy teorii funktsional'nykh sistem* [Key questions of the theory of functional systems]. Moscow: Science. 1980. 203 p. (in Russian)

Анохин П. К. Узловые вопросы теории функциональных систем. Москва: Наука, 1980. 203 с.

20. Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., Kankulov S. Situational analysis model in an intelligent system based on multi-agent neurocognitive architectures. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 2131. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2131/2/022103>

21. Nagoev Z.V. Ontoneuromorphogenetic modeling. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2013. No. 4(54). Pp. 56–63. (in Russian)

Нагоев З. В. Онтонейроморфогенетическое моделирование // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 4(54). С. 56–63.

22. Nagoev Z.V., Pshenokova I.A., Kankulov S.A., Atalikov B.A., Airan A.A. Formal model of multi-agent search for the optimal plan of behavior of an intelligent agent based on self-organization of distributed neurocognitive architectures. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2021. No. 3(101). Pp. 21–31. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-3-101-21-31 (in Russian)

Нагоев З. В., Пшенокова И. А., Канкулов С. А., Аталиков Б. А., Айран А. А. Формальная модель мультиагентного поиска оптимального плана поведения интеллектуального агента на основе самоорганизации распределенных нейрокогнитивных архитектур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 3(101). С. 21–31. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-3-101-21-31

Information about the authors

Pshenokova Inna Auesovna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of lab. “Intellectual Habitats”, the Institute of Computer Science and Regional Management Problems – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;

Leading Researcher laboratory “Neurocognitive autonomous intelligent systems”, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360002, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3394-7682>

Nagoeva Olga Vladimirovna, Research Associate of the Department of the multiagent systems, the Institute of Computer Science and Regional Management Problems – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;

nagoeva_o@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2341-7960>

Apshev Artur Zaurbievich, Research Assistant, lab. “Intellectual Habitats”, the Institute of Computer Science and Regional Management Problems – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;

artur.apshev@gmail.com

Enes Akhmed Zulfikar, Research Assistant, lab. “Computer Linguistics”, the Institute of Computer Science and Regional Management Problems – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;

ahmedenes@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3633-4910>

К проблеме имитации апперцептивных процессов системами искусственного интеллекта

Т. З. Толгуров¹, А. Т. Бозиев^{1,2}, К. Ф. Край¹

¹ Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2

² Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
360004, Россия, Нальчик, ул. Чернышевского, 173

Аннотация. Статья посвящена вопросам восприятия и обработки данных системами искусственного интеллекта и отличиям в обработке информации живым мозгом и машиной. Авторы отмечают, что понятийно-абстрактная форма осмысления кардинальным образом отличается от естественной рефлексии человеческого разума, что делает принципиально невозможной имитацию процессов идентификации объектов компьютером. **Цель:** создание идентификационной архитектуры, позволяющей имитативно воссоздать процесс живой апперцепции, протекающий в головном мозге человека. **Методы:** представление информации, с помощью которой опознается объект, в формате идентификационного алгоритма, учитывающего все данные об объекте, существующие в коллективном сознании. **Результаты:** исходя из существующих воззрений на процессы художественного отражения и приравнивая их к естественной познавательной рефлексии, авторы делают вывод о некорректности применения существующего в программировании и математике понятия «пороговая функция» в моделях имитации мыслительных процессов в системах искусственного интеллекта. Опираясь на опыт анализа образных структур в художественных текстах, авторы утверждают, что упомянутая последовательность в пространстве коллективных представлений не может быть реализована без учета даже теоретически возможных минимальных объемов информации, участвующих в формировании виртуального образа данного тела. Констатируется необходимость разработки новой архитектуры информационной презентации в системах искусственного интеллекта, предполагающей сохранность всех типов и объемов информации опознаваемого объекта и не ориентированной на ее релевантность в конкретных случаях. В качестве основного инструмента идентификации объекта предлагается не столько его конкретные характеристики, сколько сама последовательность обработки информации разного типа, присущей опознаваемому предмету. **Практическая значимость:** концептуально новый подход к пониманию сути фиксации и опознания информации, заключенной в образе того или иного объекта, позволит идентифицировать таковой во всем множестве его сензитивных и эмоциональных параметров, исключив возможность ошибки, свойственной методам статистической атрибуции. Сверх этого комплексное восприятие данных на всех уровнях отражения в границах конкретной последовательности обработки отдельных информационных кластеров предполагает возможность самостоятельного определения типологической принадлежности объекта системой искусственного интеллекта.

Ключевые слова: понятийный, сензитивный, релевантная информация, идентификация, апперцепция, нейрон, перцептрон, искусственный интеллект, пороговая функция, информационная архитектура, алгоритм обработки

Поступила 25.09.2022, одобрена после рецензирования 07.10.2022, принята к публикации 11.10.2022

Для цитирования. Толгуров Т. З., Бозиев А. Т., Край К. Ф. К проблеме имитации апперцептивных процессов системами искусственного интеллекта // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 81–92. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-81-92

On the problem of imitation of apperception processes by artificial intelligence systems

T.Z. Tolgurov¹, A.T. Boziev^{1,2}, K.F. Krai¹

¹ Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street

² Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov
360004, Russia, Nalchik, 173 Chernyshevsky street

Annotation. The article is devoted to the perception and data processing by artificial intelligence systems and the differences in information processing by a living brain and a machine. The authors note that the conceptual and abstract form of comprehension is significantly different from the natural reflection of the human mind, which makes it fundamentally impossible to imitate the processes of identifying objects by a computer. **Purpose:** to create an identification architecture that allows to imitate the process of living apperception that occurs in the human brain. **Methods:** presentation of information by which an object is identified in the format of an identification algorithm that takes into account all the data about the object that exists in the collective consciousness. **Results:** based on the existing views on the processes of artistic reflection and equating it to natural cognitive reflection, the authors conclude that it is incorrect to use the concept of “threshold function” that exists in programming and mathematics in existing models of imitation of thought processes in artificial intelligence systems. On the basis of the experience of analyzing figurative structures in literary texts, the authors argue that the mentioned sequence in the space of collective representations cannot be realized without taking into account even the theoretically possible minimum amounts of information involved in the formation of a virtual image of a given body. The need to develop a new information presentation architecture in artificial intelligence systems is stated, which implies the safety of all types and volumes of information of an identifiable object and is not focused on its relevance in specific cases. **Practical significance:** a conceptually new approach to understanding the essence of fixing and identifying information contained in the image of an object will make it possible to identify it in multitude of sensitive and emotional parameters, eliminating the possibility of an error inherent in statistical attribution methods. In addition, the complex perception of data at all levels of reflection within the boundaries of a specific sequence of processing separate information clusters suggests the possibility of independent determining the typological belonging of an object by an artificial intelligence system.

Key words: conceptual, sensitive, relevant information, identification, apperception, neuron, perceptron, artificial intelligence, threshold function, information architecture, processing algorithm

Submitted 25.09.2022,

approved after reviewing 07.10.2022,

accepted for publication 11.10.2022

For citation. Tolgurov T.Z., Boziev A.T., Krai K.F. On the problem of imitation of apperception processes by artificial intelligence systems. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 5 (109). Pp. 81–92. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-81-92

ВВЕДЕНИЕ

Понимание вопросов такого вектора интересов науки, как искусственный интеллект, отягощено множеством необязательных дополнений, зачастую лишаящих соответствующие формулировки их единого идентификационного смысла. Иногда даже наиболее общие характеристики, предназначенные для первичного ознакомления с существующими воззрениями, страдают расплывчатостью в степени, не предполагающей достоверный охват самого предмета опознавания и подменяющей его условным инструментарием функционирования систем искусственного интеллекта (ИИ): «Искусственный интеллект – это направление информатики...» [1].

Однако сама специфика рассмотрения любого объекта и постановки проблемы в информатике и математике обусловила ряд положений алгоритма изучения предмета – положений, ставящих под сомнение адекватность применяемых сегодня методов формализации представлений об объекте/процессе и трансляции конечного продукта в пространство машинного отражения.

Например, направление процесса осмысления и атрибутации любого материального тела. Хотим мы этого или не хотим, точные науки, базирующиеся на абстрактном мышлении, в процессе любого распознавания имеют дело прежде всего с конечными, уже сложившимися аналогами изучаемого объекта – понятийными номинациями. В результате сама идентификация материального тела искусственным интеллектом представляет собой постепенное движение от опознаваемого рационального понятия к его эмотивным, сензитивным и прочим формантам с попутным установлением конвенциональных по своей сути связей с иными понятийными именами.

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОПОЗНАНИЯ

Понятно, что в реальности дело обстоит совершенно иначе. Оpozнание, предлагаемое программистами, и опознание естественным (человеческим) интеллектом практически инверсивны. Однако при всей очевидности восхождения разума от ощущений к абстракции, продекларированного еще в трудах Ленина [2], даже современные воззрения на опознание (=обучение) грешат предпочтением понятийной рефлексии: «Обучение, ... при котором сеть обучается при предоставлении ей входных и соответствующих выходных шаблонов. Эти пары ввода-вывода могут быть предоставлены извне (внешним учителем или системой, содержащей саму сеть» [3]. При всех мыслимых вариантах трактовки данного тезиса понятно, что вход и выход описываемой системы обучения имеют договорную природу, а следовательно, при определенных условиях игнорируют все многообразие обрабатываемой информации, акцентируясь на рациональном ее ярусе. Вторая часть известной формулировки Кроуза и Смагта кажется менее иллюстративной: «Обучение без учителя или самоорганизация, при котором (выходная) единица обучается реагировать на группы паттернов на входе. В этой парадигме предполагается, что система обнаруживает статистически значимые характеристики входной совокупности. В отличие от парадигмы обучения с учителем здесь нет априорного набора категорий, по которым должны быть классифицированы паттерны, скорее система должна разработать собственное представление входных стимулов» [3], но на самом деле она содержит лишь расширение списка формант низших (внеабстрактных) пластов отражения в качестве случайных элементов описания. Ведь речь идет о релевантной информации – релевантной в контексте текущей конкретной ситуации – и она вполне может ограничиваться понятийными ярусами отражения.

Даже если термин «паттерны», использованный в данном определении, является погрешностью перевода, дискретность пакетов информации по определению подразумевает однозначность их обобщенных значений, в итоге – окончательную кодировку в виде понятийной номинации. Весьма показательным в этом смысле видится совпадение алгоритмов функционирования однослойного перцептрона и одного из архаичных видов художественного образа – так называемого «рапсодического шифра» [4], также основанного на использовании сугубо рациональных кодировок реальных объектов.

Дискретный же, порционный характер поступления информации в элементы искусственных нейронных сетей вытекает из самого принципиально неверного видения естественно рефлексивных процессов, протекающих в мозгу человека, – естественно, в их гносеологической части. Так, в основе современных воззрений на функционирование

нейрона и, соответственно, на функционирование его искусственного аналога лежит модель Мак-Каллока – Питтса, в которой «...выходной сигнал нейрона принимает значение 1, если индуцированное локальное поле этого нейрона не отрицательно, и 0 – в противном случае» [5].

Многочисленные формы развития данного подхода подразумевают привлечение в качестве селективного инструмента достаточно разнообразных функций – от вариаций сигмоиды до гауссовской кривой и далее – в направлении углубляющейся верификации возможных селективных графиков [6–7].

Причем все варианты интерпретации процесса активации искусственного нейрона объединены наличием критической величины возбуждения, ниже которой активация сети не подразумевается, при явной сомнительности этого подхода в максимальных приближениях графиков соответствующих функций в областях стремления к своим асимптотам.

Подобный подход к пониманию сущности и онтологии искусственного интеллекта имеет и философское основание, по всей видимости, воспринимаемое вполне естественным и обоснованным в пространстве дефиниций и категорий программирования: «Когда требуется подчеркнуть вычислительные возможности, а не биологическое соответствие, искусственные нейронные сети называют коннекциями. При этом целью «коннекционистов» является наделение нейронной сети возможностью решать конкретные задачи, а не имитировать с максимальной точностью биологический процесс» [8]. Схожие идеи проводятся целым рядом специалистов, и версия эта имеет достаточно давнюю историю, фактически не уступающую по протяженности траектории развития самой проблемы искусственного интеллекта [9]. Эта довольно распространенная позиция, естественно, подвергается небеспочвенным сомнениям, и сегодня уже разрабатываются многочисленные системы приближенной репликации сообществ живых нейронов – вплоть до архитектур, симулирующих модели энергетического взаимодействия клеток головного мозга [10]. Авторы последней гипотезы в своих воззрениях на физические носители информации, на физические элементы, посредством которых идет переработка таковой, исходят из представлений о подобии нейронов головного мозга и функциональных базовых элементов ИИ (рис. 1). Это в свою очередь приводит их к определенной структуре информационной интерпретации объекта в естественно-языковом сообщении.

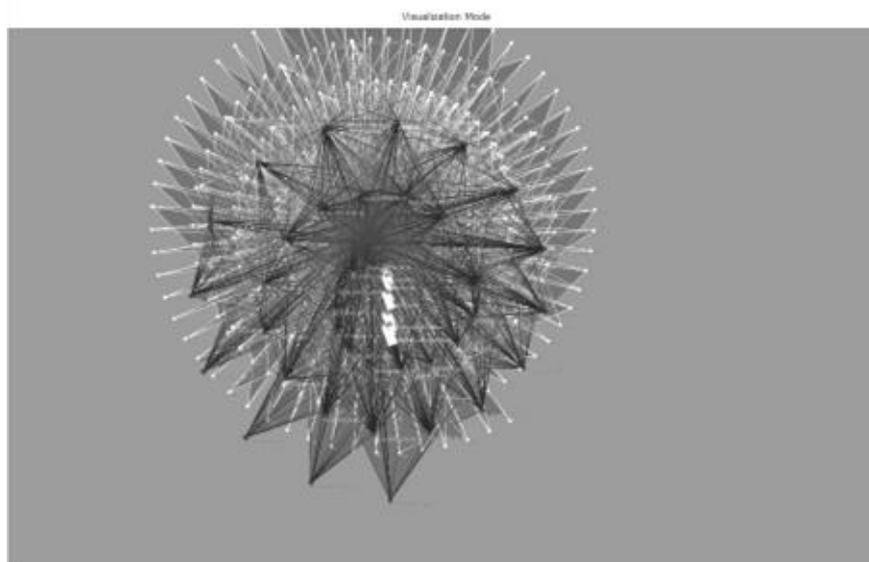


Рис. 1. Мультиагентная рекурсивная когнитивная архитектура

Fig. 1. Multi-agent recursive cognitive architecture

Забегая немного вперед, отметим, что догадка об архитектурной схожести элементов разного происхождения, детерминированной их функциональной схожестью, оказалась вполне продуктивной. Но об этом несколько ниже.

Возможности миварного подхода в отношении процессов накопления и представления информации – особенно в контексте его технологии эволюционного развития концентрируемого апперцептивного контента и изменчивости самой структуры данных [11] – выглядят наиболее широкими. В смысле соответствия актам естественной рефлексии мивар весьма близок рецептивным архитектурам, возникающим по крайней мере в комплексных текстах – например, в художественных. Однако в границах миварного подхода исследования в значительной степени ориентированы на механизмы селективного отбора данных, на создание релевантных информационных архитектур, в значительной степени игнорируя те грани описываемого объекта, которые воспринимаются как не просто не участвующие в текущем событии, но и как трудно представимые в качестве активных.

Оставляя в стороне возможные дискуссии о целях и задачах мыслительных систем, к созданию которых продвигается человек, отметим лишь одно: «возможность решать конкретные задачи» и искусственный интеллект далеки друг от друга; никто и никогда не подзревал калькулятор – сколь угодно сложный и наделенный бесконечным количеством опций – в наличии разума. В свою очередь отказ от «имитации биологического процесса» в ходе декларируемого сотворения интеллекта воспринимается, если не креационизмом, то однозначно – метафизикой.

Существует ряд причин, мешающих признать современные практики имитации интеллекта кардинально новым словом в сравнении с давно устоявшимися моделями обработки информации. И первая из них – упомянутое доминирование понятийных формант в имитационных схемах ИИ. Игнорируется в общем-то простой и абсолютно прозрачный факт – мышление человека не есть процесс логических операций, а разум соответственно – не есть логика в чистом виде. Определений интеллекта – совершенно разнохарактерных и типологически несоотносимых – много настолько, что дать их в каком-либо обобщенном виде не представляется возможным, однако понимая интеллект человека как адаптивный инструмент всего биологического вида, что прослеживается на протяжении всего времени существования данного объекта научного изучения, от взглядов Ж. Пиаже до теорий Дж. Гилфорда и Г. Олпорта, мы должны будем признать, что рациональное, понятийно-логическое мышление не повышает сурвивал-потенций ни в индивидуальном смысле, ни в цивилизационном. Грубо говоря, совершенно неизвестно, какая особь древних гоминид положила начало человеческому роду – сбежавшая при виде нападающего леопарда или схватившая камень, чтобы защитить детеныша.

ОПИСАНИЕ ПРЕДЛАГАЕМОГО МЕТОДА

Реальный интеллект человека допускает вариативность толкования любой ситуации – в этом его решающая эволюционная сила. В то же время, невзирая на огромное количество интерпретаций процессуальной и инструментальной составляющих мышления, мы должны признать, что все они не поднимаются в своей достоверности выше уровня гипотез.

Определенно можно сказать одно: исключительное доминирование понятийно-абстрактных операций любой современной системы искусственного мышления детерминировано прежде всего дискретностью обрабатываемых объемов информации, последняя в свою очередь принципиально обусловлена наличием упомянутого выше порога активации. Имитационные интеллектуальные модели в любых своих вариациях при отражении объекта создают архитектуры, заполненные теми или иными данными лишь по отдельным направлениям. Между тем реальная работа человеческого мозга по идентификации/запоминанию объектов окружающего мира имеет сущностно иной вид.

В первую очередь следует пояснить, что существующие на сегодняшний день условные, определяемые чисто эмпирически типы человеческого мышления – гуманитарное, математическое, техническое, образное и т.д. – несмотря на всю расплывчатость разделяющих их границ, видятся реальным фактом, прозрачно зафиксированным в соответствующих слоях письменной и устной речи с их лексическим и терминологическим оснащением. И из пластов естественно-языковой среды, да и вообще различных видов деятельности, которые возможно отнести к гносеологически наполненным, содержание апперцептивных и мыслительных процессов в наибольшей степени точно передается именно в эстетически значимой речи либо тексте. Причины этого понятны и в доказательствах не нуждаются. Во-первых, очевидна рефлексивная полнота художественного текста; его эстетическая убедительность зиждется на комплексном характере содержащейся информации. Без ее абстрактных, понятийных компонент исчезает семантика сообщения, без эмоционального наполнения невозможно свойственное художественной речи сопереживание, без сенсорных слагаемых информации возникают вопросы к суггестивной достоверности контента. Иначе говоря, художественный текст институирован всеми видами информации и вне консолидированного, совокупного воздействия таковых на сознание не существует [12].

Второе, имеющее непосредственное отношение к интересующей теме: в реальном процессе осознания объекта его идентификационные информативные потоки не имеют нижнего количественного горизонта. Они могут поступать в мозг на разных уровнях рефлексии в виде исчезающе малых порций; восприимчивость сознания к ним ничем не ограничена и в конкретных ситуациях объем данных, поступающих на обработку, стремится к предельному физическому минимальному объему воздействия на сенсоры. Но и в этих случаях мы имеем дело, скорее, с условностью нашего восприятия, нежели с действительностью. К слову, глаз человека воспринимает отдельные фотоны [13], т.е., поступающая информация, превышающая теоретический минимум, может расцениваться как исчезающая; соответственно, в отношении нижнего порога апперцепции – «фотона» – требуется невозможное на современном уровне знаний уточнение: представляет ли его физическое наполнение нечто, что может быть расчленено воспринимающей системой на составляющие? Или де-факто это и есть тот уровень восприятия, с помощью которого мы можем опрокинуть представления о «пороге активизации», «функции активации» и др., базирующиеся на убеждении об исчисляемом минимуме воспринимаемой информации?

Это один из краеугольных камней даже не науки, а всего мироощущения программирования, берущий начало, по всей видимости, на инстинктивном ощущении бинарности окружающего, на ощущении корректности формализации мыслимого в двоичной системе исчисления и однозначности получаемых на элементарном уровне результатов.

Явные попытки выхода за границы математической обреченности итога – такие, как стохастические модели переходов систем из состояния в состояние [5] – в своей философской, точнее гносеологической сущности несостоятельны и имеют сугубо актуальное, инструментальное значение, ибо «... стремление синаптического шума к нулю сводит стохастический нейрон к формату детерминированного нейрона Мак-Каллока – Питтса» [5]. Речь, как мы понимаем, идет об осознанной ситуативной целесообразности использования систем с заложенным в них вероятностным изменением начального-конечного качества.

Повторимся: безусловная природная, вероятно, органичная для точных наук тенденция к предельной конкретизации результата, будучи выведенной за границы необходимости в стратегически значимых проблемных направлениях воззрения на отражение, остается имманентным свойством моделей искусственных интеллектуальных архитектур, ничуть не

уступая своих позиций и в новом тысячелетии: «...В соответствии с поданными входными сигналами осуществляется активация нейронов, которые вследствие изменения значений синаптических весов адаптируются к поступающим обучающим выборкам. В процессе обучения наблюдается тенденция к росту значений весов, из-за которой создается своеобразная положительная обратная связь: более мощные возбуждающие импульсы – более высокие значения весов – большая активность нейронов. При этом происходит расслоение нейронов на различные группы. Отдельные нейроны или их группы сотрудничают между собой, ...подавляя своей активностью другие нейроны» [14]. Эту мысль С. Осовский дублирует еще в нескольких местах своего исследования [14], ему вторит целая когорта известных специалистов, и концептуальная база их высказываний на протяжении последних двадцати лет не меняется: «...выходной слой нейросети. Рассматривая прохождение возбуждения, ...считаем, что в возбужденное состояние придет не один нейрон, ...в его окрестности возбуждятся и другие нейроны... Необходимо, чтобы максимальной величиной возбуждения... обладал именно отмеченный нейрон. ...Желательно, чтобы эта величина возбуждения была существенно выше величин возбуждения других нейронов. Это обеспечит однозначность при последующем использовании полученного вывода в построении... логических цепочек для принятия решения» [15].

Или: «...Важным элементом теории мысленного распознавания образов является описание процесса распознавания в каждом распознающем модуле. В модель заложен параметр «веса» входного сигнала каждого дендрита; этот параметр определяет важность данного сигнала для распознавания. Модули характеризуются пороговым значением возбуждения» [16].

Между тем любые, самые поверхностные попытки анализа состояния информации в образе приводят нас к выводу о тотальной, полной фиксации данных в отражении объекта. В данном случае мы опускаем определение «художественное», принимая таковое за феномен, в наибольшей степени близкий к естественным рефлекторным моделям и тем более к их языковым воплощениям.

О полной – безразличной к понятию «порога» – фиксации информации в образе говорят многие факты, в том числе общеизвестные: например, явление последовательного этапного табуирования названий опасных объектов. Так, замена исконного «бер» на «медом ведающего», а затем на «косолапого», «чалдона», «хозяина» и так далее свидетельствует о том, что сензитивная и эмоциональная сущность названия этого зверя переходила из одной номинации в другую без потерь в том качестве, которое предполагало абсолютную перцептивную достоверность представления, по всей видимости, мало чем уступающую образцам восприятия магической стадии человеческого мышления.

Кроме того, говоря об искусственном интеллекте, мы должны понимать, что разговор, по определению, не может идти об имитации того или иного конкретного разума (хотя, вполне вероятно, стилизации подобного рода возможны, допустимы и могут быть востребованы в будущем).

Имеет ли смысл рассуждение о конечности – минимальной и максимальной – информации в коллективном сознании? Ведь именно таковое должно имитироваться в системах ИИ. Принятие этого факта автоматически означает отказ от гипотезы пороговых величин активации, если речь идет о биологическом или искусственном нейроне, и заодно проясняет основную (или первичную) задачу, которая должна быть решена машинным сознанием: «В Тексте... означаемое бесконечно откладывается на будущее; Текст уклончив, он работает в сфере означаемого. Означающее следует представлять себе не как «видимую часть

смысла», ...порождение означающего в поле Текста... происходит вечно... посредством множественного смещения, взаимоналожения, варьирования элементов.

...Тексту присуща множественность. Это значит, что у него не просто несколько смыслов, но что в нем осуществляется сама множественность смысла как таковая – множественность неустранимая... множественность Текста вызвана не двусмысленностью элементов его содержания, а... пространственной многолинейностью означающих, из которых он соткан» [17].

Иначе говоря, суть вопроса о создании адекватной системы искусственного интеллекта – цепь постановки и разрешения проблем, первая из которых – возможность формирования с помощью компьютера модели отражения объекта/объектов, позволяющей проводить однозначную идентификацию информации любого тела/явления/представления, вне зависимости от того, какая из ее частей актуальна на текущий момент. Ведь типологически неоднородная информация, расположенная в различных участках физической памяти человека, не является окончательным основанием для распознавания того или иного объекта. Сведения о цвете, о запахе, о звуке, о протяженности и т.п. предмета специфичны и индивидуальны, а их классификация – не более, чем результат конвенции. Нет никаких гарантий, что амплитуда и частота колебаний одного луча света вызывают одинаковую реакцию у двух индивидуумов.

В то же время существует множество примеров аномальных случаев восприятия и, соответственно, воспроизведения объектов при несомненном сохранении всех их качеств атрибутивного и аксиологического плана. В изобразительном искусстве это исключительные случаи, например, дальтонизм художника, но в словесном творчестве оригинальность трактовки реальных объектов, стремление к соединению в едином информационном блоке, в границах представления об одном предмете совершенно разноплановых атрибутов во многом и определяет степень одаренности автора.

В свете этого единственным механизмом обеспечения однозначной идентификации объекта может быть лишь порядок обработки данных, собственно алгоритм атрибутации – алгоритм, подразумевающий определенную последовательность презентации различных типологических блоков информации в самой рефлексивной модели [18]. Он выступает важнейшей частью механизма фиксации, классификации и опознания данных, в совокупности составляющих виртуальный образ объекта. Точность и гибкость этого механизма обеспечивается единовременным функционированием, как минимум, трех инструментов – обобщенной информацией внешних источников, позволяющей говорить об унификации сведений об объекте в пределах известных допущений; многообразием последовательностей-алгоритмов обработки данных различной перцептивной природы и, наконец, аппаратом имитационной иннервации, переводящим поступающие и обрабатываемые сведения в область индивидуальной аксиологии. Последний, вероятно, является основным средством консолидации разрозненных потоков информации в единое целое, средством, исключительно мобильным и универсальным: «...Мы способны органически почувствовать, пережить внутренне имитативно не только близкие нам по природе вещи, как, например, веселый полет летящей птицы или красивый бег серны, но и наслаждение от открытия и закрытия раковины.

Моторная иннервация в различных частях тела способствует, таким образом, в значительной мере живому пониманию «обрисованных» предметов, а когда это касается эффектов, связанных с мимикой лица, с морщинами на лбу, с растягиванием губ, там указания о последних легко дают повод к интенсивному воспроизведению и таким образом ведут к чисто внутреннему вживанию» [19].

Однако в границах разговора о способах «упаковки», количестве и качестве информации в пределах имитационных моделей объектов нас более всего интересует последовательность переходов от одних блоков данных к другим и даже не сам алгоритм этих переходов, а само его наличие.

Оно предполагает – очевидно и однозначно – что типологическое единство того или иного вида объектов обусловлено именно подобием алгоритма обработки информации, поступающей от них. Внутренний слепок тела, комплексное представление о нем формируется траекторией апперцепции в пространстве предмета при теоретически возможной полноте информационных компонент данного постигаемого предмета. Упрощенно – отсутствие на маршруте идентификации хотя бы одной информационной форманты делает эту идентификацию невозможной. Понятно, что в пространстве коллективного восприятия любой объект обладает набором параметров, соответствующим максимальному диапазону качеств данного типа объектов. То есть в коллективном сознании, например, камень будет иметь все мыслимые свойства камня по всем направлениям апперцепции. Для искусственного интеллекта это означает, что при его идентификации машиной последняя должна учитывать его «зернистость», «гранитность», «шершавость» и еще тысячи и тысячи черт вне зависимости от степени их присутствия в каждом определенном случае.

Полноценный учет всех, даже гипотетических характеристик камня и явится актом осознания камня искусственным интеллектом. И лишь после этого в силу вступает известная формулировка Кр. Кодуэлла об объекте, становящемся объектом, выделенным из общего потока восприятия [20]. Понятно, что трактовать сознание и мыслительный процесс вне пространства предикативности и без выделения релевантных секторов атрибутации объектов и процессов, невозможно. Но также понятно, что и схемы предикации, и изменения описываемых ситуаций немислимы без полноценного представления, виртуального дубликата объекта, задействованного в этой самой ситуации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, возможно сформулировать первичную задачу в процессе имитации искусственного интеллекта. Это создание информационной архитектуры, концентрирующей в себе все многообразие параметров объекта вне зависимости от минимальных и максимальных горизонтов ее представления, что в корне отличает ее от структур актуального и ситуативного представления знаний, как, например, во фреймах, предложенных в свое время М. Минским [21]. Указанная архитектура должна иметь фрагментированную по областям апперцепции информацию, характер распределения которой подразумевает возможность проведения уникальной траектории обработки данных. По многим ключевым свойствам, а главное в своей умозрительной конструкции в целом, в роли такой рабочей структуры вполне целесообразным видится аналог живого нейрона головного мозга и его имитация – мультиагентный нейрокогнитивный элемент, близкий по своей структуре упомянутой мультиагентной рекурсивной когнитивной архитектуре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боровская Е. В., Давыдова Н. А.* Основы искусственного интеллекта: учебное пособие. Москва: Лаборатория знаний, 2020. 130 с.
2. *Ленин В. И.* План диалектики (логики) Гегеля. Полное собрание сочинений. Т. 29. Москва: Издательство политической литературы, 1969. 301 с.
3. *Krose B., Smagt P.* An Introduction to Neural Networks. The University of Amsterdam, 1996. 135 p.

4. *Толгуров Т. З.* Рапсодический шифр // Вестник института гуманитарных исследований Правительства и КБНЦ РАН. Вып. 9. Нальчик, 2001. С. 38–56.
5. *Хайкин С.* Нейронные сети. Москва: Издательский дом «Вильямс», 2006. 1104 с.
6. *Rashid T.* Make Your Own Neural Network. 1st Edition. Create Space Independent Publishing Platform, North Charleston, 2017. Pp. 62–64.
7. *Заенцев И. В.* Нейронные сети: основные модели. Воронеж: Воронежский государственный университет, 1999. 76 с.
8. *Callan R.* The Essence Of Neural Networks. Upper Saddle River, Prentice Hall Europe, 1998. 232 p.
9. *Эндрю А.* Искусственный интеллект. Москва: Мир, 1985. С. 26–30.
10. *Нагоев З. В., Нагоева О. В.* Моделирование семантики словосочетаний с атрибутивными прилагательными на основе мультиагентной рекурсивной когнитивной архитектуры // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 3(83). С. 11–20.
11. *Варламов О. О., Санду Р. А.* Мивары: 25 лет создания искусственного интеллекта. Москва: Aegitas, 2017. 206 с.
12. *Потебня А. А.* Полное собрание трудов: Мысль и язык. Москва: Лабиринт, 1999. 300 с.
13. *Недзьведь О. В., Лещенко В. Г.* Оптика глаза. Основы биофизики зрения. Минск: Изд-во БГМУ, 2008. 24 с.
14. *Осовский С.* Нейронные сети для обработки информации. Москва: Финансы и статистика, 2002. 226 с.
15. *Барский А. Б.* Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. Москва: Финансы и статистика, 2004. С. 18.
16. *Курцвейл Р.* Эволюция разума, или Бесконечные возможности человеческого мозга, основанные на распознавании образов. Москва: Эксмо, 2012. 44 с.
17. *Барт Р.* Избранные работы. Семиотика. Поэтика. Москва: Прогресс, 1989. 417 с.
18. *Толгуров Т. З.* Эволюция тканевых образных структур в новописьменных поэтических системах Северного Кавказа. Нальчик: Эль-Фа, 2004. 27 с.
19. *Арнаудов М.* Психология литературного творчества. Москва: Прогресс, 1970. 596 с.
20. *Кодуэлл К.* Иллюзия и действительность. Москва: Прогресс, 1969. 368 с.
21. *Минский М.* Фреймы для представления знаний. Москва: Энергия, 1979. 151 с.

Информация об авторах

Толгуров Тахир Зейтунович, д-р филол. наук, зав. научно-инновационным центром «Интеллектуальные филологические системы», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360010, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2;

kangaur64@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6208-9678>

Бозиев Альберд Тахирович, канд. филол. наук, доц., Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова;

360004, Россия, Нальчик, ул. Чернышевского, 173;

зав. лабораторией «Системы машинного перевода» научно-инновационного центра «Интеллектуальные филологические системы», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360010, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2;

alberdbozиеv@mail.ru

Край Карина Фаезовна, мл. науч. сотр. лаборатории «Системы машинного перевода» научно-инновационного центра «Интеллектуальные филологические системы», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360010, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2;

kraykarina@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6927-7361>

REFERENCES

1. Borovskaya E.V., Davydova N.A. *Osnovy iskusstvennogo intellekta: uchebnoe posobie* [Fundamentals of artificial intelligence]: textbook. Moscow: Laboratory of Knowledge, 2020. 130 p. (In Russian)
2. Lenin V.I. *Plan dialektiki (logiki) Gegelya* [Hegel's plan of dialectics (logic). Complete Works]. Vol. 29. Moscow: Izdatel'stvo politicheskoy literatury, 1969. 301 p. (In Russian)
3. Krose B., Smagt P. *An Introduction to Neural Networks*. The University of Amsterdam, 1996. 135 p.
4. Tolgurov T.Z. *Rapsodicheskiy shifr* [Rhapsodic cipher]. Bulletin of the Institute for Humanitarian Studies of the Government of KBR and KBSC of RAS. Nalchik. 2001. No. 9. Pp. 38–59. (In Russian)
5. Khaikin S. *Neyronnyye seti* [Neural networks]. Moscow: “Williams” publishing house, 2006. 1104 p. (In Russian)
6. Rashid T. *Make Your Own Neural Network 1st Edition. Create Space Independent Publishing Platform*, North Charleston, 2017. Pp. 62–64.
7. Zaentsev I.V. *Nejronnyye seti: osnovnyye modeli*. [Neural networks: basic models]. Voronezh: Voronezhskiy Gosudarstvennyy universitet, 1999. 76 p. (In Russian)
8. Callan R. *The Essence Of Neural Networks*. Upper Saddle River, Prentice Hall Europe, 1998. 232 p.
9. Andrew A. *Iskusstvennyy intellekt* [Artificial intelligence]. Moscow: Mir, 1985. Pp. 26–30. (In Russian)
10. Nagoev Z.V., Nagoeva O.V. Modeling the semantics of phrases with attributive adjectives based on multi-agent recursive cognitive architecture. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2018. No. 3(83). Pp. 11–20.
11. Varlamov O. O., Sandu R. A. *Mivary: 25 let sozdaniya iskusstvennogo intellekta* [Miwars: 25 years of artificial intelligence]. Moscow: Aegitas, 2017. 206 p. (In Russian)
12. Potebnya A.A. *Polnoye sobraniye trudov: Mysl' i yazyk* [Complete Works: Thought and Language]. Moscow: Labyrint, 1999. 300 p. (In Russian)
13. Nedzved O.V., Leshchenko V.G. *Optika glaza. Osnovy biofiziki zreniya* [Eye optics. Fundamentals of the biophysics of vision]. Minsk: Belarusian State Medical University, 2008. 24 p. (In Russian)
14. Osovsky S. *Neyronnyye seti dlya obrabotki informatsii* [Neural networks for information processing]. Moscow: Finansy i statistika, 2002. 226 p. (In Russian)
15. Barsky A.B. *Neyronnyye seti: raspoznavaniye, upravleniye, prinyatiye resheniy* [Neural networks: recognition, control, decision making]. Moscow: Finansy i statistika, 2004. P. 18. (In Russian)
16. Kurzweil R. *Evolyutsiya razuma, ili Beskonechnyye vozmozhnosti chelovecheskogo mozga, osnovannyye na raspoznavanii obrazov* [Evolution of the Mind, or Infinite Possibilities of the Human Brain Based on Pattern Recognition]. Moscow: Eksmo, 2012. 44 p. (In Russian)
17. Bart R. *Izbrannyye raboty. Semiotika. Poetika* [Selected works. Semiotics. Poetics]. Moscow: Progress, 1989. 417 p. (In Russian)
18. Tolgurov T.Z. *Evolyutsiya tkanevykh obraznykh struktur v novopis'mennykh poeticheskikh sistemakh Severnogo Kavkaza* [The evolution of fabric figurative structures in the new written poetic systems of the North Caucasus]. Nalchik: El-Fa, 2004. 27 p. (In Russian)
19. Arnaudov M. *Psikhologiya literaturnogo tvorchestva* [Psychology of literary creativity]. Moscow: Progress, 1970. 596 p. (In Russian)

20. Caudwell K. *Illyuziya i deystvitel'nost'* [Illusion and reality]. Moscow: Progress, 1969. 368 p. (In Russian)
21. Minsky M. *Freyemy dlya predstavleniya znaniy* [Frames for knowledge representation]. Moscow: Energiya, 1979. 151 p. (In Russian)

Information about the authors

Tolgurov Takhir Zeytunovich, Doctor of Philological Sciences, head of Scientific and Innovation Center “Intellectual Philological Systems”, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

kangaur64@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6208-9678>

Boziev Albert Takhirovich, Candidate of Philological Sciences, Associate Professor Kabardino-Balkarian State University named after H. M. Berbekov;

360004, Russia, Nalchik, 173 Chernyshevsky street;

Head of the laboratory “Machine Translation Systems” of the Scientific and Innovation Center “Intellectual Philological Systems”, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

alberdboziev@mail.ru

Krai Karina Faezovna, Junior Researcher of the laboratory “Machine Translation Systems” of the Scientific and Innovative Center “Intellectual Philological Systems”, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

kraykarina@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6927-7361>

Разработка экспертных систем для повышения эффективности выращивания растений в сельском хозяйстве

М. А. Шереужева^{1,2}, М. А. Шереушев³

¹ Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

² Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
127055, Россия, Москва, Вадковский пер., 1

³ Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана
105005, Россия, Москва, ул. Бауманская, 5, корп. 1

Аннотация. В статье рассмотрен перспективный способ повышения производительности сельского хозяйства, а именно основные вопросы разработки и внедрения экспертной системы поддержки принятия решений. Предложена структура рекомендательной системы для определения болезней растений. Рассмотрены вопросы представления профессиональных знаний как части рекомендательной системы с помощью онтологической базы знаний. Описан интерфейс рекомендательной системы в виде web-приложения и реализован вариант взаимодействия элементов рекомендательной системы с web-приложением.

Ключевые слова: экспертные системы, база знаний, рекомендательные системы в сельском хозяйстве, разработка web-приложения, информационные технологии

Поступила 29.09.2022, одобрена после рецензирования 10.10.2022, принята к публикации 14.10.2022

Для цитирования. Шереужева М. А., Шереушев М. А. Разработка экспертных систем для повышения эффективности выращивания растений в сельском хозяйстве // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 93–104. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-93-104

MSC: 68T35

Review article

Development of expert systems to improve the efficiency of growing plants in agriculture

M.A. Shereuzheva^{1,2}, M.A. Shereuzhev³

¹ Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street

² Moscow State University of Technology "STANKIN"
127055, Russia, Moscow, 1 Vadkovsky lane

³ Moscow State Technical University named after N. E. Bauman
105005, Russia, Moscow, Bld 5/3 Baumanskaya street

Annotation. The article discusses a promising way to improve the productivity of agriculture, namely main problems of developing and implementing expert decision support system. The article proposes the structure of an agriculture expert system for determining plant diseases and considers the issues of representing professional knowledge as part of a recommender system with the help of an ontological

knowledge base. The interface of the expert system in the form of a web application is described, and a variant of the interaction of the elements of the recommender system with the web application is implemented.

Key words: expert systems, knowledge bases, recommender systems in agriculture, expert systems, knowledge bases, recommender systems in agriculture, web application development, information technology

Submitted 29.09.2022,

approved after reviewing 10.10.2022,

accepted for publication 14.10.2022

For citation. Shereuzheva M.A., Shereuzhev M.A. Development of expert systems to improve the efficiency of growing plants in agriculture. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 5(109). Pp. 93–104. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-93-104

ВВЕДЕНИЕ

Информационные технологии в современном мире определили новый уровень развития науки, производства и общества в целом. Глобальная цифровизация становится ведущим фактором и для повышения экономической эффективности сельскохозяйственного производства¹. Использование информационных технологий в сельском хозяйстве в основном ограничивалось применением компьютеров и программного обеспечения, предназначенного для управления финансами, сбора аналитической информации и предоставления отчетности².

Исследования по применению информационных технологий сейчас ведутся с разной степенью интенсивности практически по всем направлениям сельскохозяйственной науки и практики. Цифровая трансформация сельского хозяйства охватывает применение в производстве сельскохозяйственной продукции и продовольствия широкого спектра технологий (интернета вещей, робототехники, искусственного интеллекта, анализа больших данных, электронной коммерции и ряда других).

В целом в сельскохозяйственном производстве можно выделить ключевую область, в которой эффективность от внедрения цифровых технологий проявляется наиболее ярко: земледелие (управление продуктивностью посевов с учетом состояния и изменения факторов среды обитания растений) [1]. Один из перспективных путей повышения эффективности развития земледелия – применение рекомендательных систем. Рекомендательные системы помогают пользователю выбрать оптимальное решение, адаптированное к реальным условиям и основанное на профессиональной информации, уже накопленной наукой и практикой в необходимой предметной области [2].

Экспертные и рекомендательные системы имеют ключевое значение для цифровой трансформации. Экспертные системы обладают широкими возможностями применения в сельском хозяйстве, способны анализировать большие массивы данных, в том числе на естественном языке, что позволяет осуществлять комплексную поддержку принятия решений. Рекомендательные системы обладают более узким функционалом, направлены на решение достаточно узких задач, но обладают большим потенциалом роста, представляют значительный интерес для данной сферы. Используемые в рамках рекомендательных систем технологии делают данный тип систем все более приближенным к экспертным системам, стирая грань между ними.

¹ИТ в агропромышленном комплексе России [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/>
Статья: ИТ_в_агропромышленном_комплексе_России

²Цифровое сельское хозяйство – Digital agriculture [Электронный ресурс]. URL: https://ru.abcdef.wiki/wiki/Digital_agriculture.

Цель исследования – разработать информационно-аналитическую экспертную систему для мониторинга состояния выращиваемой сельскохозяйственной культуры, определения развития болезней и выработки экспертных рекомендаций по борьбе с болезнями и предотвращению их развития [11]. Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ состояния современных рекомендательных систем, используемых в сельском хозяйстве, а также перспективных направлений развития рекомендательных систем;
- определить структуру экспертной системы, спроектировать архитектуру программного обеспечения экспертной системы;
- спроектировать прототип пользовательской части программного обеспечения.

Для создания сельскохозяйственных информационных систем (ИС) наиболее целесообразно применение баз данных (БД), экспертных систем (ЭС), геоинформационных (ГИС), сетевых и виртуальных технологий, CALS-технологий [3]. Экспертные системы аккумулируют опыт квалифицированных специалистов и оперативно предоставляют его пользователю в качестве интеллектуального решения конкретной производственной задачи [4]. Основа ЭС – база знаний – модель предметной области, изложенная на языке сверхвысокого уровня, приближенном к естественному. Обязательная часть такой системы – механизм логического вывода, обеспечивающий поиск необходимых знаний и формирование экспертного заключения.

АРХИТЕКТУРА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

Экспертные системы в сельском хозяйстве осуществляют:

- планирование программ агротехнических мероприятий для конкретных полей, на которых будут выращиваться культуры;
- определение параметров управления, срок проведения операций, их характеристики и условия воспроизводства;
- коррекция информационной базы проектирования согласно новым представлениям о технологии обработки;
- выдачу обоснованных рекомендаций;
- автоматизацию системы оперативного управления технологическим процессом возделывания с.-х. культур системами экономических расчетов.

Для создания экспертной системы должны соблюдаться следующие критерии:

- наличие базы знаний по предметной области;
- возможность построения оптимального решения для потенциальных проблемных ситуаций;
- наличие пользовательского интерфейса.

Чтобы разработать экспертную систему, сначала нужно определить проблему и понять основные характеристики проблемы, которую необходимо решить в экспертной системе. Входная задача для системы связана с рекомендацией. Входная проблема структурирована для системы, экспертный модуль распознает ее как образец и передает на обработку для постановки диагноза и устранения неполадок, если таковые имеются [5–6].

Работу экспертной системы можно представить в виде контекстной диаграммы (рис. 1-а). На входе данной работы имеются знания, полученные от эксперта, и диалог с пользователем. Работа с системой производится экспертами и пользователями.

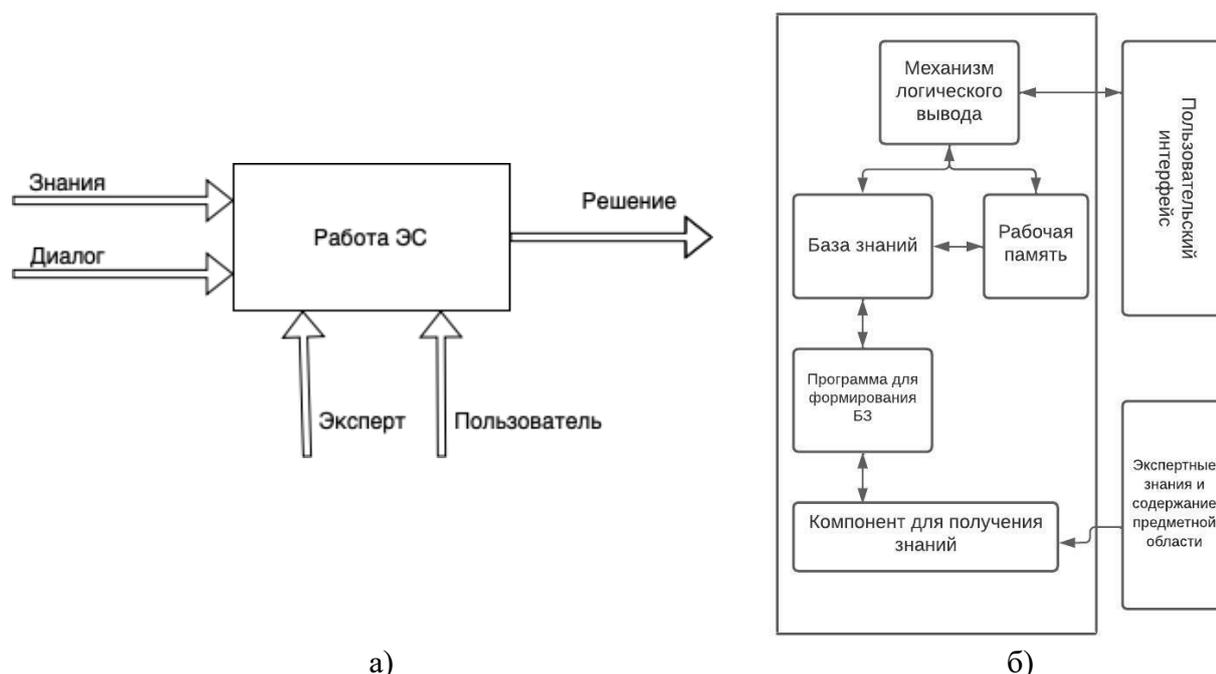


Рис. 1. а – контекстная диаграмма «Работа экспертной системы»;
б – обобщенная архитектура экспертной системы

Fig. 1. a – context diagram "Work of the expert system";
b – generalized architecture of the expert system

Архитектура экспертных систем, как правило, состоит из нескольких компонентов, присутствие каждого из которых обеспечивает работу системы в целом. Эти компоненты важны не столько по отдельности, сколько в слаженной взаимосвязанной работе, т.к. все они играют важную роль в решении задач, для которых и предназначена экспертная система (рис. 1-б). База знаний в ЭС предназначена для хранения данных, описывающих рассматриваемую область, и правил, описывающих целесообразные преобразования данных этой области. Рабочая память служит для хранения данных, полученных от пользователя, и промежуточных данных, выведенных в ходе работы системы.

Машина логического вывода – механизм рассуждений, оперирующий знаниями и данными с целью получения новых данных из знаний и других данных, имеющихся в базе знаний. Для этого обычно используется программно-реализованный механизм дедуктивного логического вывода (какая-либо его разновидность) или механизм поиска решения в сети фреймов или семантической сети. Компонент приобретения знаний автоматизирует процесс корректировки и наполнения ЭС знаниями, осуществляемый пользователем-экспертом. В простейшем случае это интеллектуальный редактор базы знаний, в более сложных экспертных системах – средства для извлечения знаний из баз данных, неструктурированного текста, графической информации и т.д.

ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРФЕЙС

Экспертные системы содержат лингвистический процессор для общения между пользователем и компьютером (лингвистический процессор преобразует входные данные, представленные на ограниченном естественном языке – русском, английском – в пред-

ставление на внутреннем языке системы и обратно – сообщения системы на внутреннем языке в сообщения на ограниченном естественном). Общение это может сопровождаться графикой и многооконным меню.

С помощью интерфейса, реализованного в виде, например, мобильного приложения, пользователь может авторизоваться, передать исходные данные о локации обрабатываемого участка, вид и сорт выращиваемой культуры, данные, определяющие текущее состояние культуры, – дата высадки, наличие проведенных операций по нанесению препаратов (гербицидов, инсектицидов и т.д.). После внесения исходных данных пользователю предлагается загрузить фото- и видеоданные растений и плодов для последующей обработки на облачном сервисе и формирования рекомендации. В дальнейшем в специальном интерфейсе приложение осуществляет вывод рекомендаций по уходу за растениями для пользователя [7–8].

Функциональные требования: для доступа к сервису пользователь регистрируется на сайте и далее авторизуется в мобильном приложении, если осуществлял регистрацию ранее. Пользователь может увидеть основную информацию о видах рекомендаций. Пользователь может загружать фото- и видеоинформацию качеством не хуже 1080 p (Full-HD).

ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

В базу знаний данные могут поступать откуда угодно. Обычно базу знаний пополняют и расширяют авторы, хорошо разбирающиеся в конкретных областях.

Базы знаний могут строиться на основе онтологий. В моделировании онтологии актуальны знания того, для чего необходима онтология и насколько детализированной или единой она может быть. Так как онтология – это модель реального мира, понятия в ней должны отображать реальность.

Онтология представляет собой формальное описание предметной области. Определение и построение онтологии включает анализ предметной области, выделение базовых онтологических элементов (объектов, атрибутов, отношений и процессов), проведение операций над этими онтологическими элементами. Онтология на основе предметной области разработана с использованием гибридизации методологий Fox-Gruninger, Methontology и FAO и написана с использованием синтаксиса RDF/XML языка веб-онтологий OWL2.

Предлагаемая система обеспечит хорошо структурированную систему, основанную на знаниях, для сложных запросов по знаниям о почвах и удобрениях, которые могут повлиять на урожай пшеницы, в виде более точной и своевременной информации [9]. Существует потребность в повышении урожайности сельскохозяйственных культур, которая зависит исключительно от различных факторов, таких как типы почвы, удобрения, орошение (что зависит от географического положения или погодных условий). Эти знания можно рассматривать как факторы урожая, способные влиять на рост определенной культуры и таким образом повышать урожайность [10].

Моделирование онтологии требует множества соображений, которые строго зависят от типа, цели и объема проектируемой онтологии. В этом проекте разработка онтологии выходит за рамки простой классификации классов и их отношений, то есть онтологии предметной области. Предлагаемая онтология на основе приложения предназначена для решения некоторых актуальных вопросов, другими словами, вопросов компетенции группы экспертов и пользователей, рассматривающих знания о почвах и удобрениях (рис. 2).

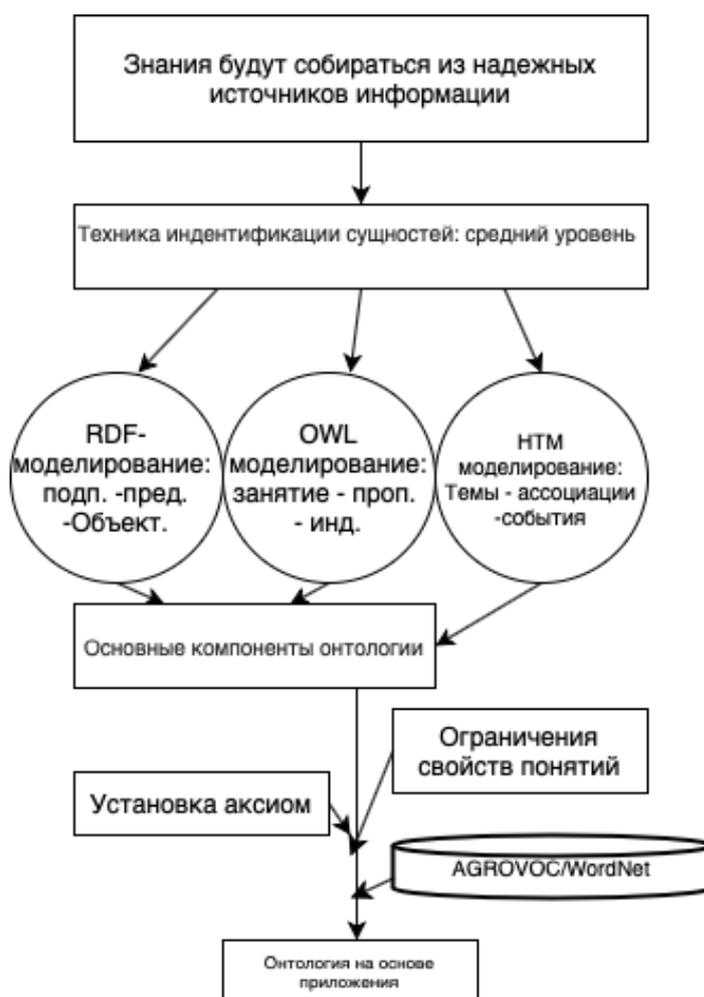


Рис. 2. Концептуальные основы проектирования онтологий

Fig. 2. Conceptual foundations of ontologies designing

Проектирование онтологий должно обеспечивать соблюдение принципа процесса разработки онтологий. Предполагается, что при моделировании онтологии для любой предметной области знания будут собираться из надежных источников информации. Также для снижения ошибок построения корректности онтологии используется метод идентификации концепций, в котором используется подход «от середины к выходу». Он обладает способностью сначала определять наиболее важные понятия, а затем обобщать и специализировать их на других понятиях.

После того как концепции должным образом обобщены и специализированы с помощью специалистов в соответствующие концепции, их можно смоделировать в любом из языков представления знаний и форматов стандартизации. Для обеспечения надежного дизайна онтологии в значительной степени учитывается, как смягчить проблемы несоответствия слов или неоднозначности терминов (например, синонимов), связанных с естественными языками. Эта исследовательская проблема обычно непреднамеренно влияет на полноту и точность результатов запроса пользователя.

ОПИСАНИЕ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ

Работу Web-приложения можно представить в виде схемы (рис. 3). НМИ (human-machine interface – человеко-машинный интерфейс) обеспечивает единый высокопроизво-

дательный интерфейс HMI для нескольких источников данных с целью улучшения ситуационной осведомленности и уменьшения времени реакции операторов. Web HMI модернизирует визуализацию, обеспечивая правильные действия оператора с первого взгляда. Web HMI также облегчает разработку, развертывание и обслуживание клиентских приложений. Это программное обеспечение, основанное на модели, позволяет автоматически генерировать runtime приложения HMI.

HMI открывает загруженное изображение, и далее модуль распознавания на базе YOLOV5 в свою очередь распознает объект, находящийся на изображении. Впоследствии в интерфейсе рекомендательной системы формируется с использованием базы знаний и базы правил.

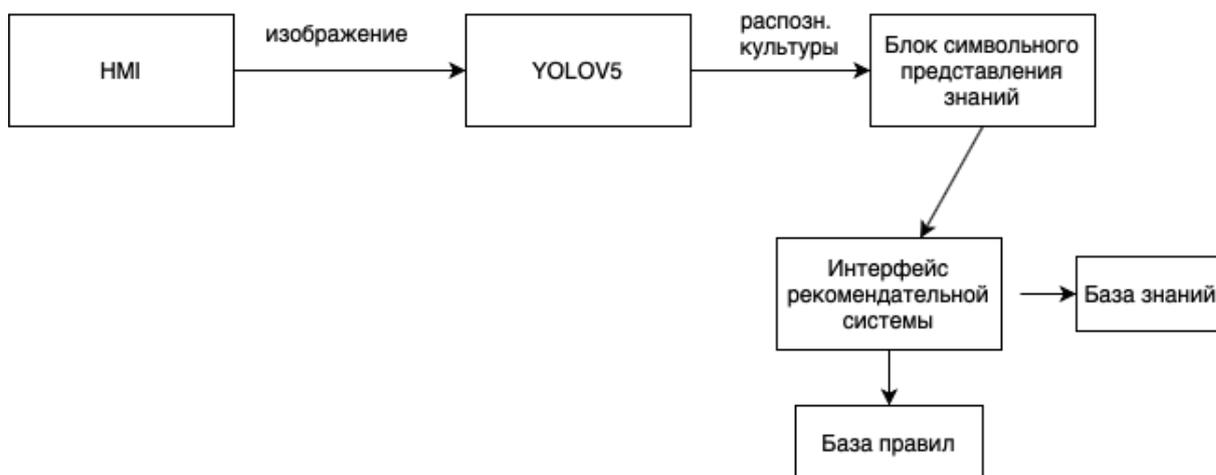


Рис. 3. Схема взаимодействия элементов Web-приложения

Fig. 3. Scheme of interaction between elements of the Web application

На главной странице сайта располагается форма для загрузки изображения (рис. 4).

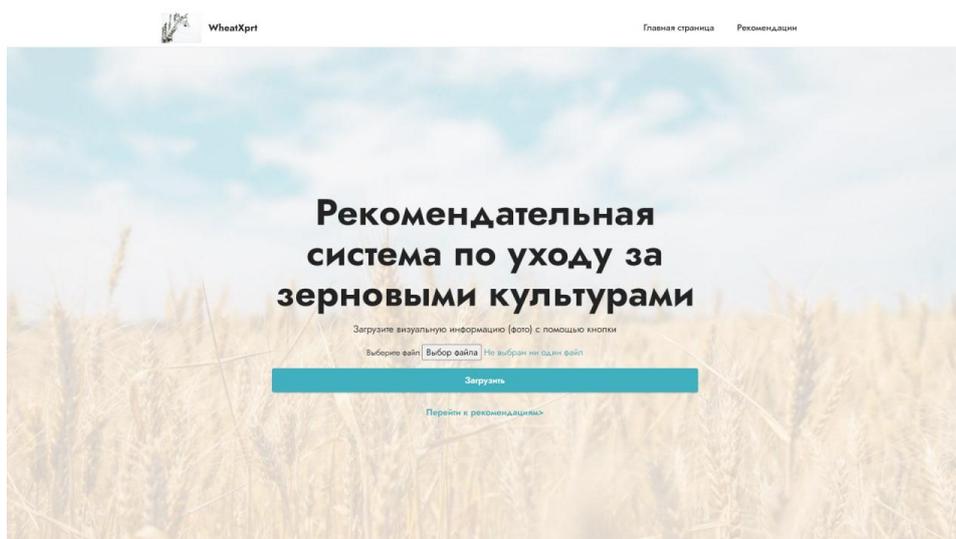


Рис. 4. Загрузочная форма Web-приложения

Fig. 4. Loading form of the Web application

После выбора файла открывается загруженное изображение (рис. 5).

Загруженная информация

Здесь отображаются загруженные пользователем данные



Рис. 5. Загруженные изображения зерновых культур

Fig. 5. Images of crops uploaded through the Web application

Далее с помощью блока распознавания на базе нейронной сети YOLOV5 происходит распознавание культуры и ее дефектов (рис. 6). На данный момент нейронная сеть была обучена с открытого набора данных портала Kaggle³.

Распознанная культура

Здесь отображаются данные обработки исходной информации системой классификации

Bounding Box Wheat Images

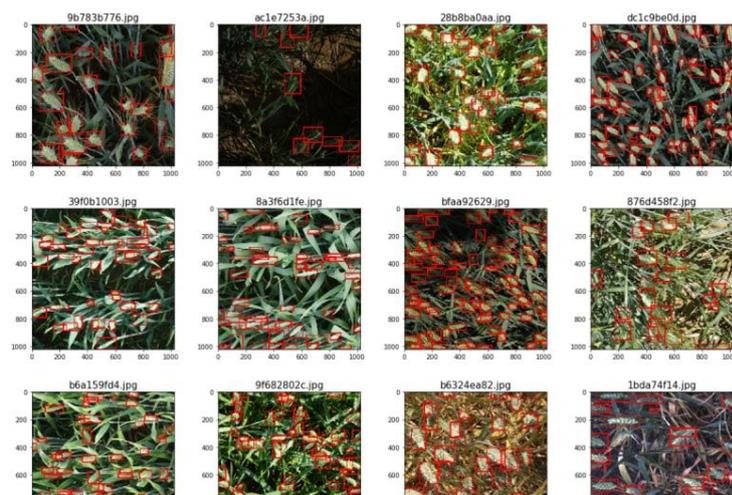


Рис. 6. Распознавание культуры

Fig. 6. Crops recognition

³ <https://www.kaggle.com/competitions/global-wheat-detection/data>

На следующем этапе передается символическое сообщение об обнаружении заболевания в блок принятия решения. Под полученный запрос блок производит поиск ответа согласно прописанным правилам. Ответ, являющийся рекомендацией, пользователь видит в соответствующем разделе сайта. Таким образом, для реализации реальной системы очевидным становится, что экспертную систему для решения задач по устранению болезней культур можно разбить на три основных уровня: сенсорный, информационно-коммуникационный и интеллектуальный (рис. 7).

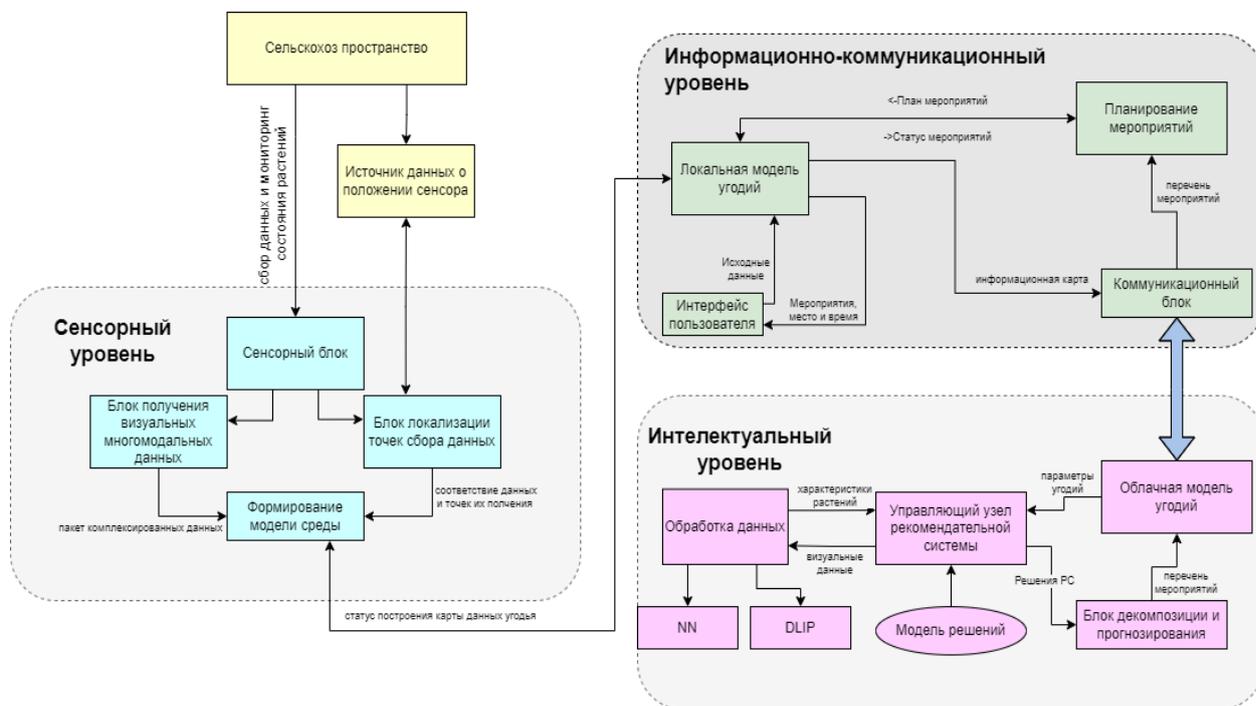


Рис. 7. Уточненный состав рекомендательной системы с возможностью формирования моделей сельскохозяйственных участков

Fig. 7. Refined composition of the recommender system with the possibility of forming models of agricultural plots

Задача сенсорного уровня – формирование данных для обработки, в случае осуществления визуального контроля растений это могут быть изображения с видеокамер, мультиспектральных камер и др. Информационно-коммуникационный уровень отвечает за передачу данных и ввод пользовательских данных через интерфейс пользователя. На интеллектуальном уровне осуществляется обработка данных по распознаванию болезней культур, выявляются символические факты о состоянии культур, а именно факт наличия болезни и ее классификация, формируется модель принятия решений по известным заранее экспертным данным с онтологической базой знаний. На вход модуля принятия решения передаются символические выражения, которые обрабатываются модулем принятия решений на базе системы правил, сформированной по онтологии. Сформированное решение-рекомендация передается обратно на информационно-коммуникационный уровень пользователю.

Фиксирование факта обнаружения болезни культуры с локализацией конкретных растений и формированием модели сельскохозяйственного участка может стать основой не только для системы рекомендаций по устранению текущих болезней, но и

основой системы предиктивной аналитики с историей произрастания культур на конкретных участках. Однако подобная система в свою очередь потребует реализации средств локализации растений.

ВЫВОДЫ

Важную роль в повышении эффективности сельскохозяйственного производства играют информационно-аналитические системы поддержки принятия решений. Внедрение экспертных систем в перспективе позволит оперативно и достоверно выполнять расчеты, проводить анализ или получать информацию о состоянии и производственном потенциале сельхозкультур, выдавать экспертные заключения для выработки и принятия обоснованных решений. На текущем этапе данной работы определена принципиальная возможность реализации экспертной системы для распознавания болезней культур и определены необходимые инструменты для дальнейшей реализации подобной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нагоев З. В., Шуганов В. М., Бжыхатлов К. Ч., Замоев А. Ю., Иванов З. З.* Перспективы повышения производительности и эффективности сельскохозяйственного производства с применением интеллектуальной интегрированной среды // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН.* 2021. № 6(104). С. 155–165. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-6-104-155-165.
2. *Pushkarev A., Yakubailik O.* A web application for visualization, analysis, and processing of agricultural monitoring spatial-temporal data // *CEUR Workshop Proceedings.* 2021. Vol. 3006. Pp. 231–237. URL: http://ceur-ws.org/Vol-3006/27_short_paper.pdf
3. *Скворцов Е. А., Скворцова Е. Г., Санду И. С., Иовлев Г. А.* Переход сельского хозяйства к цифровым, интеллектуальным и роботизированным технологиям // *Экономика региона.* 2018. Т. 14. № 3. С. 1014–1028.
4. *Савченко О.Ф.* Методологические аспекты создания информационных систем в сельском хозяйстве // *Достижения науки и техники АПК.* 2006. № 11. С. 5–10.
5. *Москалев С. М., Клименок-Кудинова Н. В.* Искусственный интеллект и интернет вещей как инновационные методы совершенствования агропромышленного сектора // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета.* 2018. № 52. С. 121–130.
6. *Воронин Б. А., Митин А. Н., Пичугин О. А.* Управление процессами цифровизации сельского хозяйства России. *Аграрный вестник Урала.* 2019. № 4(183). С. 86–95.
7. *Ксалов А. М., Бжыхатлов К. Ч., Канкулов С. А., Аталиков Б. А., Энес А. З.* Система визуализации данных для интеллектуальной экспертной системы активной защиты растений // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН.* 2021. № 2(106). С. 22–30. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-2-106-22-30.
8. *Wolfert Sjaak, Ge Lan, Verdouw Cor, Bogaardt Marc-Jeroen.* Big Data in Smart Farming – A review // *Agricultural Systems.* 2017. Vol. 153. Pp. 69–80. DOI: 10.1016/j.agsy.2017.01.023.
9. *Eastwood C., Klerkx L., Ayre M., Dela Rue B.* Managing Socio-Ethical Challenges in the Development of Smart Farming: From a Fragmented to a Comprehensive Approach for Responsible Research and Innovation // *Journal of agricultural and environmental ethics.* 2017. No. 32 (5–6). Pp. 741–768. DOI: 10.1007/s10806-017-9704-5.
10. *Боргест Н. М., Будаев Д. В., Травин В. В.* Онтология проектирования точного земледелия: состояние вопроса, пути решения // *Онтология проектирования.* 2017. Т. 7. № 4. С. 423–442. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-423-442.

11. Калимуллина О. В., Ярцева К. А., Литун К. В. Роль экспертных и рекомендательных систем для интеллектуализации бизнеса: отраслевой анализ рынка // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12. №. 3. С. 1613–1636. DOI: 10.18334/vines. 12.3.114969

Информация об авторах

Шереужева Милана Артуровна, магистр кафедры «Информационные технологии и вычислительные системы», Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»; 127055, Россия, Москва, Вадковский пер., 1;

стажер-исследователь лаборатории «Интеллектуальные среды обитания», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН; 360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

milana.shereuzheva2001@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6668-4703>

Шереушев Мадин Артурович, ст. преподаватель кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана; 105005, Россия, Москва, улица 2-я Бауманская, 5, корп. 1;

shereuzhev@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2352-992X>

REFERENCES

1. Nagoev Z.V., Shuganov V.M., Bzhikhatlov K.Ch., Zammoev A.U., Ivanov Z.Z. Prospects for increasing the productivity and efficiency of agricultural production with the use of an intelligent integrated environment. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2021. No. 6(104). Pp. 155–165. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-6-104-155-165. (In Russian)

2. Pushkarev A., Yakubailik O. A web application for visualization, analysis, and processing of agricultural monitoring spatial-temporal data. *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 3006. Pp. 231–237. URL: http://ceur-ws.org/Vol-3006/27_short_paper.pdf

3. Skvortsov E.A., Skvortsova E.G., Sandu I.S., Iovlev G.A. Transition of Agriculture to Digital, Intellectual and Robotics Technologies. *Economy of Regions*. 2018. Vol. 14. No. 3. Pp. 1014–1028. (In Russian)

4. Savchenko O.F. Methodological aspects of creating information systems in agriculture. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2006. No. 11. Pp. 20–22. (In Russian)

5. Moskalev S.M., Klimenok-Kudinova N.V. Artificial intelligence and the internet of things as innovative methods of improving the agro-industrial sector. *Izvestiya (News) of Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2018. No. 52. Pp. 121–130. (In Russian)

6. Voronin B.A., Mitin A.N., Pichugin O.A. Managing the processes of digitalization of agriculture in Russia. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019. No. 4(183). Pp. 86–95. (In Russian)

7. Ksalov A.M., Bzhikhatlov K.Ch., Kankulov S.A., Atalikov B.A., Enes A.Z. Data visualization system for intelligent expert system of active plant protection. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 2(106). Pp. 22–30. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-2-106-22-30. (In Russian)

8. Wolfert Sjaak, Ge Lan, Verdouw Cor, Bogaardt Marc-Jeroen. Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*. 2017. Vol. 153. Pp. 69–80. DOI: 10.1016/j.agsy.2017.01.023.

9. Eastwood C., Klerkx L., Ayre M., Dela Rue B. Managing Socio-Ethical Challenges in the Development of Smart Farming: From a Fragmented to a Comprehensive Approach for Responsible Research and Innovation. *Journal of agricultural and environmental ethics*. 2017. No. 32(5–6). Pp. 741–768. DOI: 10.1007/s10806-017-9704-5.

10. Borgest N.M., Budaev D.V., Travin V.V. Ontology of precision agriculture design: problem state, solution approaches. *Ontology of Designing*. 2017. No. 7(4). Pp. 423–442. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-423-442. (In Russian)

11. Kalimullina O.V., Yartseva K.A., Litun K.V. The role of expert and recommendation systems for business intellectualization: industry market analysis. *Russian Journal of Innovation Economics*. 2022. Vol. 12. No. 3. Pp. 1613–1636. DOI: 10.18334/vinec. 12.3.114969 (In Russian)

Information about the authors

Shereuzheva Milana Arturovna, Master, Department “Information technologies and computing systems”, Moscow Technical University “STANKIN”;

127055, Russia, Moscow, 1 Vadkovsky lane;

Trainee Researcher (Research Assistant) of the Laboratory “Intellectual Habitats” of the Institute of Computer Science and Regional Management Problems – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;

milana.shereuzheva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6668-4703>

Shereuzhev Madin Arturovich, Senior Lecturer, Department “Robotic systems and mechatronics”, Moscow State Technical University named after N.E. Bauman;

105005, Russia, Moscow, Bld 5/3 Baumanskaya street;

shereuzhev@bmstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2352-992X>

Потенциально токсичные элементы в поверхностных водах бассейна реки Черек Безенгийский

Н. В. Реутова, Т. В. Реутова, Ф. Р. Дреева, А. М. Хутуев

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
Центр географических исследований
360000, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Поскольку в настоящее время очистка питьевой воды от тяжелых металлов не производится, изучение микроэлементного состава вод, используемых для этих целей, является совершенно необходимым. Целью данной работы является изучение микрокомпонентного состава поверхностных вод бассейна р. Черек Безенгийский. Проводилось определение концентрации 11 металлов II-IV классов опасности (Ag, Al, As, Cd, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn). Пробы воды были отобраны в конце июня – июле в период интенсивного таяния ледников. Определение содержания тяжелых металлов проводилось с использованием атомно-абсорбционной спектроскопии. Проведенное исследование показало, что только для двух металлов – марганца и цинка – характерно закономерное снижение концентраций при изменении природно-климатических зон от высокогорья к среднегорью; для металлов, концентрации которых находятся в пределах кларковых значений (Ag, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb), закономерности в динамике концентраций в поверхностных водах, связанных с переходом от высокогорной к среднегорной зоне, не выявлены; повышенные концентрации мышьяка (до 2 ПДК для питьевой воды), обнаруженные в двух водотоках, связаны с наличием геохимических аномалий. В целом поверхностные воды бассейна р. Черек Безенгийский имеют самый низкий уровень природного загрязнения потенциально токсичными элементами по сравнению с другими реками Кабардино-Балкарии.

Ключевые слова: геохимические аномалии, микроэлементы, высокогорные реки

Поступила 19.08.2022, одобрена после рецензирования 24.08.2022, принята к публикации 07.09.2022

Для цитирования. Реутова Н. В., Реутова Т. В., Дреева Ф. Р., Хутуев А. М. Потенциально токсичные элементы в поверхностных водах бассейна реки Черек Безенгийский // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 105–115. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-105-115

Original article

Potentially toxic elements in the surface waters of the Cherek Bezengiysky river basin

N.V. Reutova, T.V. Reutova, F.R. Dreeva, A.M. Khutuev

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
Center of geographical researches
360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street

Annotation. Since the purification of drinking water from heavy metals is not carried out presently, the study of the trace element composition of the waters used for these purposes is absolutely necessary. The aim of this work is to study the micro-component composition in surface waters of the Cherek Bezengiysky river basin. Concentrations of 11 metals of hazard classes II - IV (Ag, Al, As, Cd, Cr, Cu,

Mn, Mo, Ni, Pb, Zn) were determined. Water samples were taken at the end of June – July during the period of intensive glaciers melting. The content of heavy metals was determined using atomic absorption spectroscopy. The study showed that only two metals – manganese and zinc - are characterized by a natural decrease in concentrations when changing climatic zones from the highlands to the middle mountains. For metals whose concentrations are within Clark values (Ag, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb), no regularities in the dynamics of concentrations in surface waters associated with the transition from the high-altitude to the mid-mountain zone were revealed. Higher concentrations of arsenic (up to 2 MPC for drinking water) found in two watercourses are associated with the presence of geochemical anomalies. In general, the surface waters of the Cherek Bezengiysky river basin have the lowest level of natural pollution with potentially toxic elements compared to other rivers of Kabardino-Balkaria.

Key words: geochemical anomalies, trace elements, alpine rivers

Submitted 19.08.2022,

approved after reviewing 24.08.2022,

accepted for publication 07.09.2022

For citation. Reutova N.V., Reutova T.V., Dreeva F.R., Khutuev A.M. Potentially toxic elements in the surface waters of the Cherek Bezengiysky river basin. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 5 (109). Pp. 105–115. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-105-115

ВВЕДЕНИЕ

Воды высокогорных рек традиционно считаются эталонно чистыми. Но следует иметь в виду, что высокогорье – это зачастую регионы современного и древнего вулканизма. Поэтому логично будет предполагать наличие в их водах потенциально опасных химических элементов. Целый ряд металлов и металлоидов могут быть причиной возникновения как канцерогенных, так и неканцерогенных заболеваний. Так, повышенные концентрации алюминия в питьевой воде (> 200 мкг/дм³) могут вызывать нейродегенеративные заболевания, мышьяк поражает практически все системы органов человека, хром и никель являются известными канцерогенами. Поскольку очистка питьевой воды от тяжелых металлов не производится, изучение микроэлементного состава вод, используемых для этих целей, является совершенно необходимым. Особую актуальность данная проблема приобретает для горных районов Кавказа, являющихся в настоящее время приоритетными районами для развития внутреннего туризма в России. Ранее авторами уже отмечалось наличие природного загрязнения молибденом, цинком и медью в верховьях р. Баксан [1, 2], алюминием в водотоках, расположенных на территории современных вулканов и древних кальдер в Кабардино-Балкарской Республике [3].

В данной работе приводятся результаты исследования поверхностных вод бассейна р. Черек Безенгийский, который, хотя и расположен на восточной границе Эльбрусского неовулканического центра [4], но на его территории не отмечается наличие крупных геохимических аномалий. Химический состав вод реки Черек Безенгийский изучался достаточно интенсивно. Большое внимание было уделено исследованию ионного состава [5–8]. В этих работах приводятся результаты по изучению ионного состава вод основного русла реки только на 5 створах в высокогорной зоне на территории Кабардино-Балкарского государственного высокогорного природного заповедника до 14-го км ее течения и отмечено, что в 2004–2014 гг. величина минерализации выросла в 1,5–2 раза. Зафиксированы неоднократные превышения ПДК по ионам аммония и нитритов. Также ранее [9] была исследована зависимость концентрации главных ионов от высоты водосбора и температуры воды на примере одного 2013 года и выявлено, что с увеличением температуры воды на 3°C в период летнего половодья концентрация

гидрокарбонат ионов и ионов кальция увеличивается более чем в два раза, а сумма ионов ниже высоты 1450 м увеличивается в два раза. Был изучен и микроэлементный состав вод [10–12] и выявлено, что основным загрязняющим элементом в верховьях реки является цинк. По данным М. А. Газаева с соавторами [10], «...в высокогорной зоне воды квалифицируются как сильно загрязненные (6-й кл.)», а по содержанию Mn, Ni, Cr, Pb, Cu, Ag, Cd они являются очень чистыми.

Таким образом, воды р. Черек Безенгийский были обследованы только до 14-го километра ее течения. Целью данной работы является изучение микрокомпонентного состава поверхностных вод всего бассейна р. Черек Безенгийский.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Река Черек является наиболее значительным притоком р. Баксан. Длина реки – 76 км, площадь водосбора – 3070 км² [13]. Бассейн реки охватывает северный склон Главного хребта, Боковой и Скалистый хребты. В верховьях он разделен отрогами Бокового и Скалистого хребта на две части: западную (Черек Безенгийский) и восточную (Черек Балкарский), которые сливаются у северного подножья Скалистого хребта. Это место считается истоком р. Черек. Истоками реки Черек Безенгийский являются р. Безенги, берущая начало с самого большого долинного ледника Кавказа – Безенги, и р. Мижирги, берущая начало с одноименного ледника. Основными притоками р. Черек Безенгийский являются р. Думала и Карасу.

По данным В. Д. Панова с соавторами [13], преобладающим источником питания р. Черек с притоками является подземное (37,0–41,4%). На долю ледникового приходится 7,0–25,6% в зависимости от происхождения реки; на долю снегового – 22,1–30,9%. Дождевое питание характерно для всех рек и составляет 13,5–31,6% (наименьшее у рек ледникового питания).

В бассейне данной реки расположены один альплагерь и 3 поселка (Безенги, Кара-су и Бабугент), промышленных предприятий нет. Следовательно, заметного антропогенного влияния нет.

Исследование микрокомпонентного состава поверхностных вод было начато в 2013 году. Пробы воды отбирались в конце июня – июле в период интенсивного таяния ледников. Отбор проб выполнялся в соответствии с ГОСТ Р 59024-2020. Поскольку производилось определение растворимой формы микроэлементов, все пробы фильтровались через мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм. Консервация проб для определения тяжелых металлов осуществлялась азотной кислотой (ОСЧ) из расчета 0,5 % в соответствии с ГОСТ Р 57162-2016. Транспортировка и хранение проб осуществлялись при температуре 2–5°C. Определение содержания тяжелых металлов (ТМ) проводилось с использованием атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) в соответствии с ГОСТ Р 51309-99 и методикой «Количественный химический анализ вод» фирмы-производителя прибора МГА-915. Авторами определены концентрации 11 металлов II-IV классов опасности. Классы опасности указаны для водных объектов рыбохозяйственного значения [14]¹.

В таблице 1 приведены названия пунктов отбора проб.

¹ Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Приложение к приказу Минсельхоза России от 13 декабря 2016 года № 552 (с изменениями на 10 марта 2020 года)

Таблица 1. Список пунктов отбора проб**Table 1.** List of sampling points

№	Название	Расстояние от истока, км	№	Название	Расстояние от истока, км
1	р. Черек Безенгийский	9,05	10	р. Думала	12,1
2	р. Черек Безенгийский	11,0	11	руч. Шыкису	4,4
3	р. Черек Безенгийский	24,5	12	р. Кишлыксу	6,55
4	р. Черек Безенгийский	40,8	13	р. Шаудорсу	5,9
5	р. Черек Безенгийский	53,3	14	р. Карасу Безенгийский	15,7
6	р. Мижирги	3,2	15	родн. а/л Безенги	0
7	руч. Гитче-Наратлы	1,8	16	вдп Девичьи слезы	0
8	р. Беккамсу	3,8	17	ист. Испису (сероводородный)	0
9	р. Аккусу	5,3			

На рисунке 1 приведена карта-схема пунктов отбора проб. Номера створов на рисунке и в таблицах совпадают.

**Рис. 1.** Карта-схема расположения пунктов отбора проб**Fig. 1.** Map-scheme of the location of sampling points

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В бассейне р. Черек Безенгийский расположено 17 пунктов отбора проб, из них 5 непосредственно по руслу самой реки, 9 притоков ледникового и неледникового происхождения, 3 родника. Полученные результаты по концентрациям ТМ приведены в таблицах 2 и 3. В таблицах приведены средние значения концентраций за 8 лет наблюдений. В таблице 2 приведены данные по серебру. Этот элемент не включен в Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения [14]. Он был добавлен в таблицу 2, поскольку серебро является одним из наиболее токсичных элементов для микроорганизмов и простейших.

Серебро и кадмий. Концентрации этих элементов очень низкие, в основном даже ниже кларковых значений. Так, концентрации серебра колебались в пределах 0,05–0,2 мкг/дм³. Еще более низкие концентрации характерны для кадмия и не превышают сотых долей мкг/дм³, что совпадает с имеющимися литературными данными [12]. Никаких закономерностей, связанных со сменой высотно-климатических зон при транзите от высокогорной до среднегорной зоны, для этих элементов не выявлено.

Молибден. В бассейне р. Черек Безенгийский нет геохимических аномалий с высоким содержанием молибдена. Соответственно, в поверхностных водах этого района концентрации этого элемента низкие и редко превышают кларковые значения. Несколько большим содержанием молибдена характеризуются воды родников. Авторами ранее отмечалось [15], что в родниковых водах горной зоны КБР содержание молибдена повышено по сравнению с поверхностными водами. Как и для других металлов, концентрации которых в поверхностных водах находятся в пределах кларковых значений, никаких закономерностей, связанных со сменой высотно-климатических зон, не выявлено.

Таблица 2. Концентрации микроэлементов II класса опасности (мкг/л) в водах верховьев р. Черек Безенгийский (коэффициент вариации)

Table 2. Concentrations of trace elements of hazard class II (µg/l) in the waters of the upper reaches of the river. Cherek Bezengi (coefficient of variation)

№	Ag	Cd	Mo	Pb
р. Черек Безенгийский				
1	0,05 (0,47)	0,02 (0,60)	0,18 (1,73)	0,70 (1,46)
2	0,11 (0,04)	0,04 (0,38)	0,45 (1,41)	0,97 (1,06)
3	0,07 (0,80)	0,02 (0,46)	0,71 (0,55)	0,84 (1,23)
4	0,08 (0,71)	0,02 (0,85)	0,73 (0,74)	0,69 (0,88)
5	0,18 (0,94)	0,01 (1,22)	0,86 (0,68)	1,60 (0,69)
Притоки р. Черек (Безенгийский)				
6	0,10 (0,65)	0,02 (0,07)	0,72 (0,59)	0,36 (1,73)
7	0,09 (0,72)	0,01 (1,41)	1,43 (0,51)	0,40 (1,27)
8	0,12*	0,01*	1,89*	0,74*
9	0,20 (1,01)	0,01 (1,30)	1,21 (0,10)	0,56 (0,58)
10	0,10*	0,01*	0,98*	0,51*
11	0,09 (0,36)	0,07 (1,18)	0,15 (0,89)	0,43 (1,33)
12	0,06 (0,87)	0,01 (0,21)	0,72 (0,31)	0,57 (0,43)
13	0,08 (0,21)	0,01*	1,53 (0,59)	0,41 (0,82)
14	0,10 (0,46)	0,01 (0,46)	1,01 (0,39)	0,29 (0,26)
Родники				
15	0,13 (0,07)	0,02 (0,09)	2,83 (0,32)	0,36 (1,41)
16	0,12 (0,43)	0,01 (1,41)	1,83 (0,37)	0,41 (0,20)
17	0,10 (0,34)	0,01 (0,80)	1,22 (0,72)	0,36 (0,39)
ПДК _{питьев.}	50	1	250	30
ПДК _{рыбхоз.}	-	5	1	6
Кларки речных вод	0,2	0,2	1	1

* – пробы отбирались однократно

Свинец. В бассейне р. Черек Безенгийский концентрации свинца не превышали кларковых значений и закономерностей в их динамике при смене высотно-климатических зон не выявлено.

Алюминий. Несмотря на наличие палеозойских гранитоидов, юрских и неоген-четвертичных вулканитов, в поверхностных водах бассейна р. Черек Безенгийский кон-

центрации алюминия были ниже, чем для бассейнов рек Баксан и Чегем [3, 16]. Возможно, незначительные зоны неогенового вулканизма, несравнимые по площади с Верхнечегемским вулканическим районом, не могли оказать существенного влияния на речные воды в бассейне р. Черек Безенгийский. В данном районе хорошо просматривается тенденция к снижению содержания алюминия как по основному руслу реки, так и в воде притоков при переходе от высокогорной к низкогорной зоне.

Мышьяк. В верховьях бассейна реки Черек от междуречья р. Чегем и р. Черек Безенгийский до р. Псыгансу расположено множество мышьяковых и полиметаллических рудопроявлений [17], рудные минералы в которых представлены халькопиритом, пиритом, сфалеритом, арсенопиритом и др. [18]. В связи с этим интересно отметить тот факт, что в трех водотоках бассейна р. Чегем (приток р. Гара-Аузусу, р. Булунгу-Суу и р. Сылык-Су), истоки которых находятся на границе бассейнов рек Чегем и Черек Безенгийский, концентрации мышьяка выше, чем во всех остальных водотоках [16]. В исследуемом районе только в воде двух ручьев неледникового происхождения (№ 8 и 9), являющихся левыми притоками реки, концентрации мышьяка заметно выше ПДК. Также повышенное содержание As отмечено для р. Думала (не превышая ПДК для питьевых вод). Это объясняется нахождением в верховьях р. Думала As-рудопроявления Чегет-Джора, а в верховьях ручьев Беккам-су и Аккусу – рудопроявления Шильдиген. Но они не приводят к заметному повышению концентраций мышьяка в водах р. Черек Безенгийский. Несмотря на наличие геохимических аномалий, в водах остальных водотоков бассейна р. Черек Безенгийский содержание мышьяка находится на уровне кларковых значений.

Таблица 3. Концентрации микроэлементов III и IV классов опасности (мкг/л) в водах верховьев р. Черек Безенгийский (коэффициент вариации)

Table 3. Concentrations of microelements of III and IV hazard classes ($\mu\text{g/l}$) in the waters of the upper reaches of the river Cherek Bezengiysky (coefficient of variation)

№	Al	As	Cr	Cu	Mn	Ni	Zn
р. Черек Безенгийский							
1	73,21(0,94)	1,46(0,32)	0,34(1,35)	2,49(0,76)	30,92(0,47)	1,87(1,33)	73,21(0,94)
2	83,21(0,69)	2,77(0,85)	0,83(0,66)	4,07(0,50)	44,99(0,05)	0,79(0,66)	83,21(0,69)
3	21,80(0,59)	2,11(0,75)	1,04(0,51)	2,85(0,64)	25,64(0,60)	0,66(0,83)	21,80(0,59)
4	15,73(1,20)	2,38(0,87)	1,07(0,77)	2,06(0,93)	15,48(0,61)	0,71(0,86)	15,73(1,20)
5	42,06(1,03)	2,71(0,88)	1,61(0,94)	3,31(0,80)	12,41(0,65)	0,99(0,66)	42,06(1,03)
Притоки р. Черек (Безенгийский)							
6	48,46(1,28)	0,76(0,99)	0,46(1,16)	2,85(0,84)	4,18(0,22)	0,62(0,74)	48,46(1,28)
7	58,90(0,45)	2,48(1,41)	0,97(0,51)	3,71(0,06)	3,37(0,51)	0,52(0,48)	58,90(0,45)
8	38,97*	10,30*	0,64*	1,93*	2,77*	1,01*	38,97*
9	60,91(0,44)	20,41(0,94)	1,04(0,48)	4,75(0,35)	2,92(0,68)	0,44(0,54)	60,91(0,44)
10	42,40*	8,27*	0,73*	3,14*	10,07*	1,01*	42,40*
11	97,81(1,44)	3,13(0,04)	0,91(0,30)	3,32(0,07)	5,13(1,28)	0,63(0,96)	97,81(1,44)
12	20,88(0,92)	0,98(0,98)	1,00(0,12)	4,24(0,08)	3,11(0,59)	0,87(0,34)	20,88(0,92)
13	22,62(1,06)	2,43*	1,02(0,56)	2,75(0,21)	2,87(0,66)	1,00(0,62)	22,62(1,06)
14	16,31(0,54)	0,90(0,97)	0,93(0,24)	2,84(0,60)	1,85(0,76)	0,71(0,71)	16,31(0,54)
Родники							
15	104,23(0,56)	1,49(0,65)	0,89(0,03)	4,65(0,03)	2,55(0,46)	0,66(0,79)	104,23(0,56)
16	15,14(1,42)	1,07(0,51)	0,92(0,39)	3,57(0,41)	1,44(0,91)	1,17(0,55)	15,14(1,42)
17	40,33(0,25)	1,04(0,49)	0,93(0,44)	2,98(0,55)	7,80(0,04)	0,93(0,15)	40,33(0,25)
ПДК _{питьев.}	500	10	500	1000	100	100	5000
ПДК _{рыбхоз.}	40	50	70	1	10	10	10
Кларки речных вод	160	2	1	7	10	2,5	20

* – пробы отбирались однократно

Хром. Концентрации хрома не превышали кларковых значений, и каких-либо закономерностей в их динамике при смене высотно-климатических зон выявлено не было. Если сравнивать с имеющимися литературными данными [12], то совпадающими пунктами отбора проб являются только створы на границе заповедника (№ 1 и 2). Выявленные нами концентрации почти в 4 раза ниже, что может быть связано с тем, что, во-первых, использовались мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм; во-вторых, в цитируемой работе, по-видимому, приведены результаты разового обследования (что, к сожалению, не указано), а авторами приводятся средние значения за 8 лет. Высокая вариабельность химического состава поверхностных вод – факт общеизвестный.

Медь. Содержание меди в поверхностных водах бассейна р. Черек Безенгийский колеблется в пределах 2–4 мкг/дм³, что в два раза ниже кларковых значений и хорошо совпадает с имеющимися литературными данными [10, 11]. Но во всех пробах были превышены ПДК для рыбохозяйственных водоемов.

Марганец. В поверхностных водах исследуемого региона концентрации марганца в основном русле реки закономерно снижались при переходе от высокогорной зоны к равнине. В верховьях бассейна воды обогащены марганцем, в низовьях концентрации этого элемента ниже кларковых значений.

Никель. Концентрации никеля более чем в два раза ниже кларковых значений. Каких-либо закономерностей в их динамике, связанных с изменением высотно-климатических зон, не выявлено.

Цинк. В бассейне р. Черек Безенгийский концентрации цинка закономерно убывают при смене высотно-климатических зон от высокогорья к среднегорью. Эта тенденция четко просматривается не только по руслу реки, но и для ее притоков. Точно такая же картина наблюдалась и в поверхностных водах бассейна р. Чегем [16]. С учетом высоких коэффициентов вариабельности наши данные хорошо совпадают с имеющимися литературными данными [10, 11]. Как и для Cu, во всех пробах превышен ПДК для рыбохозяйственных водоемов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что только для двух металлов – марганца и цинка – выявлено закономерное снижение концентраций при изменении природно-климатических зон от высокогорья к среднегорью; для металлов, концентрации которых находятся в пределах кларковых значений (Ag, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb), закономерностей в динамике концентраций в поверхностных водах, связанных с переходом от высокогорной к среднегорной зоне, не выявлено; повышенные концентрации мышьяка (до 2 ПДК для питьевой воды), обнаруженные в двух водотоках, связаны с наличием геохимических аномалий. Во всех пробах наблюдается превышение ПДК по Cu и Zn для рыбохозяйственных водоемов. В целом поверхностные воды бассейна р. Черек Безенгийский имеют самый низкий уровень природного загрязнения потенциально токсичными элементами по сравнению с другими реками Кабардино-Балкарии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Reutova T.V., Dreeva F.R., Reutova N.V. Pollutant concentrations in mountain river waters in the upper Baksan area (Prielbrus'e National Park) and their seasonal variations // Water Resources. 2018. Vol. 45. No. 1. Pp. 120–126. DOI: 10.1134/S0097807818010153

2. Реутова Т. В., Дреева Ф. Р., Реутова Н. В. Природное и антропогенное загрязнение молибденом водных объектов Центрального Кавказа и его биоиндикация // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геохронология. 2018. № 2. С. 51–60. DOI: 10.7868/S0869780318020059.

3. Reutova N.V., Reutova T.V., Dreeva F.R., Khutuev A.M., Kerimov A.A. Features of aluminum concentrations in rivers of the mountain zone of the Central Caucasus // Russian Journal of General Chemistry. 2018. Vol. 88. No. 13. Pp. 2884–2892. DOI: 10.1134/S1070363218130091.

4. Чернышев И. В., Бубнов С. Н., Лебедев В. А., Гольцман Ю. В., Баирова Э. Д., Якушев А. И. Два этапа эксплозивного вулканизма Приэльбрусья: геохронология, петрохимические и изотопно-геохимические характеристики вулканитов и их роль в неоген-четвертичной истории Большого Кавказа // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2014. Т. 22. № 1. С. 100–130. DOI: 10.7868/S0869592X14010025.

5. Газаев М. А., Атабиева Ф. А., Жинжакова Л. З., Газаев М. М. Пространственно-временная изменчивость показателей качества воды высокогорной реки Черек Безенгийский // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2014. № 1. С. 23–32.

6. Газаев Х.-М. М., Атабиева Ф. А., Кучменова И. И., Жинжакова Л. З. Статистическая обработка многолетних данных по химическому составу воды реки Черек Безенгийский // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 2. С. 42–52.

7. Газаев Х.-М., Жинжакова Л. З., Иттиев А. Б. Многолетняя динамика химического состава вод реки Черек Безенгийский (левый исток р. Черек) // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2015. № 2(8). С. 122–126.

8. Атабиева Ф. А., Газаев Х. М., Жинжакова Л. З., Газаев М. М. Многолетняя динамика химического состава вод реки Черек Безенгийский (левый исток р. Черек) // В сборнике: Устойчивое развитие: проблемы, концепции, модели. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. 2017. С. 110–112.

9. Газаев Х.-М. М., Атабиева Ф. А., Кучменова И. И., Жинжакова Л. З. Особенности формирования химического состава воды ледниковой реки Черек Безенгийский // Вода: химия и экология. 2016. № 3(93). С. 73–77.

10. Газаев М. А., Жинжакова Л. З., Агоева Э. А., Газаев М. М. Исследование содержания микроэлементов в водах летнего паводка реки Черек Безенгийский // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. № 4(54). 2013. С. 82–86.

11. Газаев Х. М., Жинжакова Л. З., Атабиева Ф. А. Исследование содержания микроэлементов Zn, Mn, Cu в водах горных рек с ледниковым питанием // В сборнике: Устойчивое развитие: проблемы, концепции, модели. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. 2017. С. 127–129.

12. Жинжакова Л. З., Газаев Х.-М. М., Атабиева Ф. А. Пространственное распределение концентраций токсичных металлов Ni, Cr, Cd и Pb в водах верхнего течения рек Черек и Чегем // В сборнике: Устойчивое развитие: проблемы, концепции, модели. Материалы Всероссийской конференции с международным участием. 2017. С. 149–152.

13. Панов В. Д., Базелюк А. А., Лурье П. М. Река Терек. Гидрография и режим стока. Ростов-на-Дону: Донской издательский дом. 2015. 606 с.

14. Реутова Н. В., Реутова Т. В., Дреева Ф. Р., Керимов А. А., Хутуев А. М. Химический состав родниковых вод высокогорной и среднегорной зоны КБР // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2017. № 2(76). С. 83–89.

15. Реутова Н. В., Реутова Т. В., Дреева Ф. Р., Хутуев А. М. Микроэлементы в поверхностных водах бассейна реки Чегем // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2019. № 5(91). С. 57–63. DOI: 10.35330/1991-6639-2019-5-91-57-63.

16. Письменный А. Н., Терещенко В. В., Перфильев В. А., Марченко Р. В., Попов С. А., Терещенко Л. А., Прокуронов П. В. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Издание 2-е. Серия Кавказская. Лист К-38-VIII, XIV (Советское). Объяснительная записка / Под ред. Грекова И. И. СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ. 2002. 190 с.

17. Кайгородова Е. Н., Петров В. А. Мышьяковые и полиметаллические рудопроявления междуречья рек Чегем-Черек Балкарский (Кабардино-Балкарская Республика) // Разведка и охрана недр. 2016. № 2. С. 3–8.

Информация об авторах

Реутова Нина Васильевна, д-р биол. наук, вед. науч. сотр. Центра географических исследований, Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360010, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2;

reutova371@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9609-5870>

Реутова Татьяна Васильевна, ст. науч. сотр. Центра географических исследований, Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360010, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2;

reuttat@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0651-7230>

Дреева Фатима Робертовна, науч. сотр. Центра географических исследований, Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360010, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2;

f.dreeva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5119-9695>

Хутуев Ахмед Махмутович, науч. сотр. Центра географических исследований, Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360010, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2;

khutuev.a.m@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1215-8230>

REFERENCES

1. Reutova T.V., Dreeva F.R., Reutova N.V. Pollutant concentrations in mountain river waters in the upper Baksan area (Prielbrus'e National Park) and their seasonal variations. *Water Resources*. 2018. Vol. 45. No. 1. Pp. 120–126. DOI: 10.1134/S0097807818010153.

2. Reutova T.V., Dreeva F.R., Reutova N.V. Natural and anthropogenic molybdenum pollution of water bodies in the Central Caucasus and its bioindication. *Geo`kologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2018. No. 2. Pp. 51–60. DOI: 10.7868/S0869780318020059. (In Russian)

3. Reutova N.V., Reutova T.V., Dreeva F.R., Khutuev A.M., Kerimov A.A. Features of aluminum concentrations in rivers of the mountain zone of the Central Caucasus. *Russian Journal of General Chemistry*. 2018. Vol. 88. No. 13. Pp. 2884–2892. DOI: 10.1134/S1070363218130091.

4. Chernyshev I.V., Bubnov S.N., Lebedev V.A., Goltsman Y.V., Bairova E.D., Yakushev A.I. Two stages of explosive volcanism in the Elbrus area: geochronology, petrochemical and isotope-geochemical characteristics of volcanic rocks and their role in the Neogene-Quaternary history of the Greater Caucasus. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya*.

[Stratigraphy. Geological correlation] 2014. Vol. 22. No. 1. Pp. 100–130. DOI: 10.7868/S0869592X14010025. (In Russian)

5. Gazaev M.A., Atabieva F.A., Zhinzhakova L.Z., Gazaev M.M. Spatio-temporal variability of water quality indicators of the high-mountain river Cherek Bezengiysky. *Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [Water management in Russia: problems, technologies, management]. 2014. No. 1. Pp. 23–32. (In Russian)

6. Gazaev X.-M.M., Atabieva F.A., Kuchmenova I.I., Zhinzhakova L.Z. Statistical processing of long-term data on the chemical composition of the water of the river Cherek Bezengiysky. *Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [Water management in Russia: problems, technologies, management]. 2015. No. 2. Pp. 42–52. (In Russian)

7. Gazaev X.-M., Zhinzhakova L.Z., Ittiev A.B. Long-term dynamics of the chemical composition of the waters of the River Cherek Bezengi (left source of the River Cherek). *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2015. No. 2(8). Pp. 122–126. (In Russian)

8. Atabieva F.A., Gazaev X.M., Zhinzhakova L.Z., Gazaev M.M. Long-term dynamics of water chemistry of the River Cherek Bezengiysky (left offspring of R. Cherek). *V sbornike: Ustojchivoe razvitie: problemy, koncepcii, modeli. Materialy Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem* [In the collection: Sustainable development: problems, concepts, models. Materials of the All-Russian Conference with International Participation]. 2017. Pp. 110–112. (In Russian)

9. Gazaev X.-M.M., Atabieva F.A., Kuchmenova I.I., Zhinzhakova L.Z. Features of the formation of the chemical composition of the water of the glacial river Cherek Bezengiysky. *Voda: himiya i ekologiya*. [Water: chemistry and ecology]. 2016. No. 3 (93). Pp. 73–77. (In Russian)

10. Gazaev M.A., Zhinzhakova L.Z., Agoeva E.A., Gazaev M.M. Research of the content of microelements in waters during summer high water of Cherek Bezengiysky river. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2013. No. 4(54). Pp. 82–86. (In Russian)

11. Gazaev X.M., Zhinzhakova L.Z., Atabieva F.A. The study of the trace elements Zn, Mn, Cu in the waters of the mountain rivers with glacial water. *V sbornike: Ustojchivoe razvitie: problemy, koncepcii, modeli. Materialy Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem* [In the collection: Sustainable development: problems, concepts, models. Materials of the All-Russian Conference with International Participation]. 2017. Pp. 127–129. (In Russian)

12. Zhinzhakova L.Z., Gazaev X.-M.M., Atabieva F.A. The spatial distribution of concentrations of toxic metals Ni, Cr, Cd and Pb in the waters of the upper reaches of the rivers Cherek and Chegem. *V sbornike: Ustojchivoe razvitie: problemy, koncepcii, modeli. Materialy Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem* [In the collection: Sustainable development: problems, concepts, models. Materials of the All-Russian Conference with International Participation]. 2017. Pp. 149–152. (In Russian)

13. Panov V.D., Bazelyuk A.A., Lur'e P.M., *Reka Terek: gidrografiya i rezhim stoka* (Terek River: Hydrography and Runoff Regime), Rostov-on-Don: Donskoi Izdatel'skii Dom, 2015. (In Russian)

14. Reutova N.V., Reutova T.V., Dreeva F.R., Kerimov A.A., Khutuev A.M. Chemical composition of spring water of high mountainous and middle mountainous zone of the KBR. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2017. No. 2(76). Pp. 83–89. (In Russian)

15. Reutova N.V., Reutova T.V., Dreeva F.R., Xutuev A.M. Trace elements in surface waters of the Chegem river basing. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2019. No. 5(91). Pp. 57–63. DOI: 10.35330/1991-6639-2019-5-91-57-63. (In Russian)

16. Pismennyj A.N., Tereshhenko V.V., Perfilev V.A., Marchenko R.V., Popov S.A., Tereshhenko L.A., Prokuronov P.V. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii masshtaba 1:200000*. [State Geological Map of the Russian Federation scale 1:200000]. Under the editorship of. Grekov I.I. Sheet K-38-VIII, XIV]. *Izdanie 2-e. Seriya Kavkazskaya. List K-38-VIII, XIV (Sovetskoe)* SPb.: Izd-vo SPb kartfabriki VSEGEI. 2002. 190 p. (In Russian).

17. Kaigorodova E.N., Petrov V.A. *My`sh`yakovy`e i polimetallicheskie rudoproyavleniya mezhdurech`ya rek Chegem-Cherek Balkarskij* (Arsenic and polymetallic ore signs between the rivers Chegem and Cherek Balkarsky. Kabardino-Balkarskaya Respublika). *Razved. Okhrana Nedr* [Exploration and protection of subsoil]. 2016. No. 2. Pp. 3–8. (In Russian)

Information about the authors

Reutova Nina Vasilievna, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Center for Geographical Research of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

reutova371@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9609-5870>

Reutova Tatyana Vasilievna, Senior Researcher, Center for Geographical Research of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

reuttat@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0651-7230>

Dreeva Fatima Robertovna, Research Associate, Center for Geographical Research of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

f.dreeva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5119-9695>

Khutuev Akhed Makhmutovich, Research Associate, Center for Geographical Research of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

khutuev.a.m@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1215-8230>

Влияние режимов орошения и регуляторов роста на продуктивность сортов чины посевной в условиях Западного Прикаспия Дагестана

М. Р. Батырова, М. Р. Мусаев, А. А. Магомедова, З. М. Мусаева

Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова
367032, Россия, Махачкала, ул. М. Гаджиева, 180

Аннотация. С целью выявления адаптивного потенциала сортов чины посевной на светло-каштановых почвах Западного Прикаспия Дагестана в период с 2020-го по 2022 г. были заложены полевые опыты. Объектом исследований являлись сорта чины посевной – Рачейка и Мраморная. В качестве регуляторов роста применяли Альбит (50 мл/т) и Ризоторфин (0,5 кг на гектарную наименьшую влагоемкость (НВ) семян). Разработаны режимы орошения – поливы при 60 % НВ, поливы при 70 % НВ, поливы при 80 растений в фазах 3–5 и 8–10 листьев, нормы – 1 л/т и 1–2 л/га. Установлено, что сорта чины посевной Рачейка и Мраморная наибольшую листовую поверхность сформировали при влажности почвы 80 % НВ, превышения по сравнению с контрольным вариантом (60 % НВ) и вариантом с предполивным порогом 70 % НВ составили 16,5–16,6 и 8,0–9,1 %. Применяемые регуляторы роста оказали положительное действие на этот показатель, при этом наибольшее значение – на уровне 28,6 тыс. м²/га – наблюдалось на варианте с регулятором роста Альбит, разница с данными контроля (обработка водой) составила 12,6 %. Аналогичная ситуация отмечена также по другим элементам фотосинтетической деятельности посевов. Сравнительные данные между сортами чины показали, что наибольшие значения площади листовой поверхности и чистой продуктивности фотосинтеза наблюдались на посевах сорта Рачейка. Достаточно высокие урожайные данные сортов зафиксированы при режиме орошения с порогом 80 % НВ – соответственно 2,85–2,55 т/га, превышения по сравнению с первым (60 % НВ) вариантом составили 27,2–26,2 %, а с данными второго варианта (70 % НВ) – 9,6–9,9 %. В среднем по вариантам с режимами орошения и сортами урожайность зерна при обработке регулятором роста Альбит составила 2,70 т/га, что выше данных контроля (60 % НВ) и второго варианта (70 % НВ) – соответственно на 24,4 и 11,1 %. Кроме того, исследования показали, что урожайность сорта Рачейка была высокой (2,56 т/га), разница с данными сорта Мраморная составила 11,3 %.

Ключевые слова: Западный Прикаспий Дагестана, зернобобовые культуры, чина посевная, сорта, режим орошения, регуляторы роста, площадь листовой поверхности, чистая продуктивность фотосинтеза, урожайность

Поступила 03.10.2022, одобрена после рецензирования 11.10.2022, принята к публикации 14.10.2022

Для цитирования. Батырова М. Р., Мусаев М. Р., Магомедова А. А., Мусаева З. М. Влияние режимов орошения и регуляторов роста на продуктивность сортов чины посевной в условиях Западного Прикаспия Дагестана // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 116–123. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-116-123

The influence of irrigation regimes and growth regulators on the productivity of varieties of grass peavine (*Lathyrus sativus*) in the conditions of the Western Caspian Region of Dagestan

M.R. Batyrova, M.R. Musaev, A.A. Magomedova, Z.M. Musaeva

Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov
367032, Russia, Makhachkala, 180 M. Gadzhiev street

Annotation. In order to identify the adaptive potential of the cultivars of the grass peavine on the light chestnut soils of the Western Caspian Region of Dagestan in the period from 2020 to 2022, field studies were conducted: factor A – varieties of Racheyka, Mramornaya; factor B – growth regulators Albit (50 ml/t), Rhizotorphin (0.5 kg per hectare lowest moisture (LM)), factor B – irrigation regimes – watering at 60% LM, watering at 70% LM, watering at 80 plants in phases 3-5 and 8-10 leaves, norms of 1 l/t and 1-2 l/ha. It was found that the cultivars of the seeded Crustacean and Marble formed the largest leaf surface at soil moisture of 80% LM, the excess compared to the control variant (60% LM) and the variant with a pre-watering threshold of 70% LM amounted to 16.5-16.6 and 8.0-9.1%. The applied growth regulators had a positive effect on this indicator, while the highest value, at the level of 28.6 thousand m² / ha, was observed on the variant with the growth regulator Albit, the difference with the control data (water treatment) was 12.6%. A similar situation was also noted for other elements of photosynthetic activity of crops. Comparative data between varieties of grass peavine that the greatest values of leaf surface area and net photosynthesis productivity were observed in the crops of the Racheyka variety. Sufficiently high yield data of varieties were recorded under the irrigation regime with a threshold of 80% LM – 2.85-2.55 t/ha, respectively, the excess compared to the first (60% LM) variant was 27.2-26.2%, and with the data of the second variant (70% LM) – 9.6-9.9%. On average, according to the variants with irrigation regimes and varieties, the grain yield during processing by the Albit regulator was 2.70 t/ha, which is higher than the control data (60% LM) and the second variant (70% LM) – by 24.4 and 11.1%, respectively. In addition, studies have shown that the yield of the Racheyka variety was high (2.56 t/ha), the difference with the data of the Mramornaya variety was 11.3%.

Key words: Western Caspian region of Dagestan, leguminous crops, grass peavine, varieties, irrigation regime, growth regulators, leaf surface area, net photosynthesis productivity, yield

Submitted 03.10.2022,

approved after reviewing 11.10.2022,

accepted for publication 14.10.2022

For citation. Batyrova M.R., Musaev M.R., Magomedova A.A., Musaeva Z.M. The influence of irrigation regimes and growth regulators on the productivity of varieties of grass peavine (*Lathyrus sativus*) in the conditions of the Western Caspian Region of Dagestan. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2022. No. 5 (109). Pp. 116–123. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-116-123

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В настоящее время в условиях жестких санкций со стороны США и стран Европы на первый план выдвигается задача продовольственной безопасности для населения страны. Повышение продуктивности отрасли животноводства в основном сдерживается по причине несбалансированности кормовых рационов по переваримому протеину, то есть несовершенства кормовой базы. В этой связи к числу важнейших можно отнести проблему производства растительного белка. Решить данную проблему, как считают многие исследователи, возможно увеличением площадей посева зернобобовых культур, к числу которых относится чина посевная [1–7].

Посевная площадь чины посевной в мире составляет 1,5 млн га, точных сведений по РФ нет, так как площади ее возделывания учитывают с другими зернобобовыми культурами [8–15].

В орошаемых условиях Дагестана исследования по технологии возделывания чины посевной не проводились. Решение данной задачи для светло-каштановых почв Западного Прикаспия Дагестана является основой данного исследования и определяет его актуальность.

Цель исследований сводилась к исследованию адаптивного потенциала сортов чины посевной на светло-каштановых почвах Терско-Сулакской подпровинции Дагестана, разработке оптимального режима сортов чины посевной на фоне предпосевной обработки семян препаратами роста.

Задачи исследований:

- провести сравнительную оценку сортов чины посевной на орошаемых светло-каштановых почвах Терско-Сулакской подпровинции Дагестана;
- определить основные параметры фотосинтетической деятельности сортов чины посевной;
- разработать наиболее рациональный режим орошения сортов чины посевной, определить суммарное водопотребление при разных режимах орошения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе тщательного анализа вышеизложенного материала нами в 2020–2022 гг. был заложен трехфакторный полевой эксперимент на светло-каштановых почвах Бабаюртовского района, территория которого относится к Приморско-Каспийской подпровинции Республики Дагестан, по нижеприведенной схеме:

Фактор А. Сорта чины посевной – Рачейка, Мраморная.

Фактор Б. Регуляторы роста – контроль (без полива), Альбит (50 мл/т), Ризоторфин (0,5 кг на гектарную норму высева семян).

Фактор В. Режим орошения – поливы при 60 % НВ, поливы при 70 % НВ, поливы при 80 % НВ.

Повторность опыта четырехкратная, размещение делянок рендомизированное. Площадь делянки – 50 м², а учетной – 25 м². Предшественник – озимая пшеница, способ посева – рядовой с шириной 0,30 м, вегетационные поливы проводили по полосам.

Закладку опытов, фенологические наблюдения, оценку и учеты проводили в соответствии с методическими рекомендациями Б. А. Доспехова [16].

Количество поливов в зависимости от климатических условий варьировало в пределах 2-3 поливов – при влажности 60 % НВ; 3-4 поливов – на варианте с предполивным порогом 70 % НВ; 4-6 поливов – при режиме орошения с влажностью 80 % НВ. Нормы полива по вышеперечисленным вариантам опыта составили 950, 700, 500 м³/га, а суммарное водопотребление колебалось в пределах 3108–3222 м³/га.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

В наших исследованиях на фотосинтетическую деятельность сортов чины посевной оказали влияние погодные условия и изучаемые агроприемы. Установлено, что наибольшие показатели – на уровне 29,7–28,8 тыс. м²/га – зафиксированы на третьем варианте (80 % НВ). Превышения по сравнению с контролем (60 % НВ) составили 16,5–16,6%, а в сравнении с данными второго варианта (70 % НВ) – соответственно 8,0–9,1% (рис. 1).

Примерно такая же динамика зафиксирована по показателю чистой продуктивности фотосинтеза. На фоне повышения порога влажности почвы до 70 % НВ чистая продуктивность фотосинтеза повысилась на посевах сортов Рачейка и Мраморная до 4,76–4,61 г/м² в сутки, а на третьем варианте опыта (80 % НВ) – до 4,97–4,79 г/м² в сутки. Превышения с показателями контрольного варианта (60 % НВ) были на уровне 7,0 8,0 и 11,7 12,2 %.

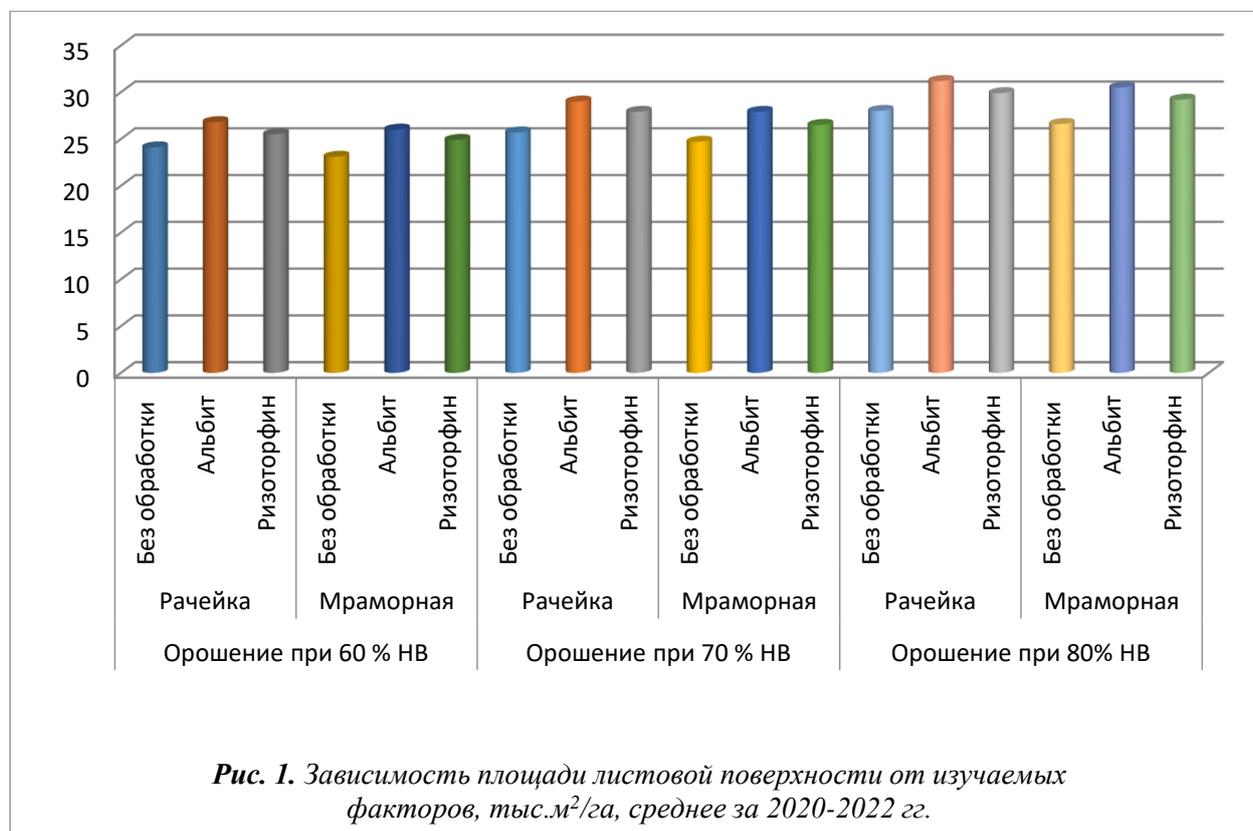


Рис. 1. Зависимость площади листовой поверхности от изучаемых факторов, тыс.м²/га, среднее за 2020-2022 гг.

Fig. 1. Dependence of the leaf surface area on the studied factors, thousand m²/ha, average for 2020-2022

Вышеуказанные показатели также дифференцировались в зависимости от применяемых регуляторов роста, при этом максимальные данные отмечены на делянках с регулятором роста – соответственно 25,4 тыс. м²/га и 4,81 г/м² в сутки, что больше данных контроля (без обработки) на 12,6 и 8,8 %.

Из сортов чины посевной наибольшая площадь листьев отмечена у сорта Рачейка – в среднем по изучаемым агроприемам 27,6 тыс. м²/га, разница с сортом Мраморная наблюдалась на уровне 3,8 %.

Значительное увеличение урожайности сортов чины посевной, как свидетельствуют данные полевого опыта, зафиксировано на третьем варианте (80 % НВ) – 2,85–2,55 т/га (рис. 2).

На контроле (60 % НВ) урожайные данные составили 2,24–2,02 т/га, что ниже вышеуказанного варианта на 27,2–26,2 %. Данные по режиму орошения с влажностью 70 % НВ составили 2,60–2,32 т/га. Сравнительные данные второго (70 % НВ) и третьего (80 % НВ) вариантов опыта показали, что в последнем случае урожайность зерна сортов Рачейка и Мраморная была выше на 9,6–9,9%.

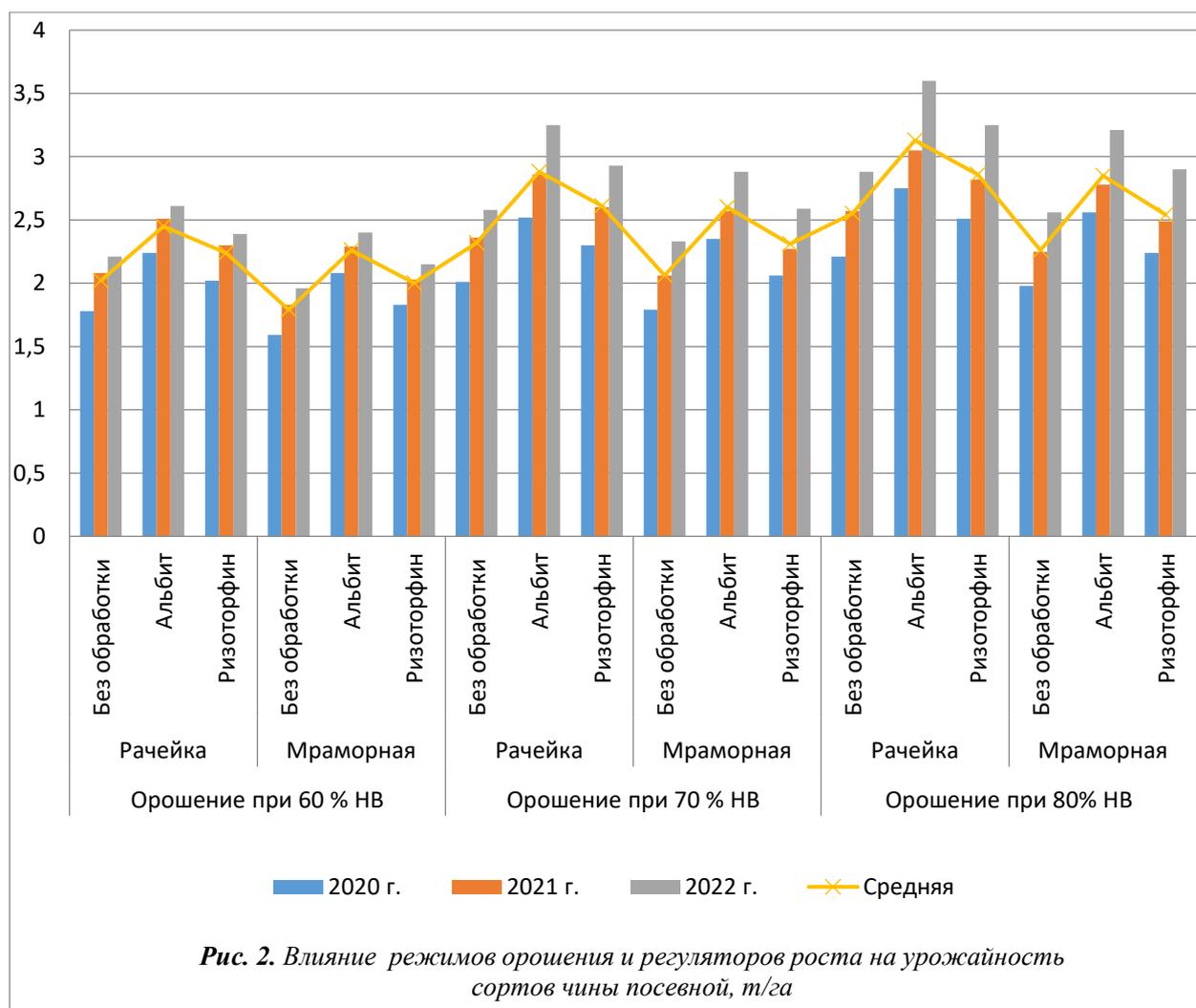


Рис. 2. Влияние режимов орошения и регуляторов роста на урожайность сортов чины посевной, т/га

Fig. 2. Influence of irrigation regimes and growth regulators on the yield of cultivars, t/ha

НСР₀₅: 2020 г. – 0,08; 2021 г. – 0,07; 2022 г. – 0,06

Сорта чины посевной максимальную урожайность сформировали при обработке препаратом роста Альбит – в среднем по изучаемым агроприемам 2,70 т/га, что выше данных контрольного варианта (без обработки) на 24,4 %, больше варианта с препаратом Ризоторфин на 11,1 %.

Наибольшая урожайность зафиксирована на посевах сорта Рачейка – 2,26 т/га, что больше сорта Мраморная на 11,3 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог вышеизложенному, можно отметить, что наибольшую продуктивность обеспечил сорт чины посевной Рачейка. Достаточно высокая продуктивность сортов чины посевной была достигнута на варианте с режимом орошения при 80 % NB и предпосевной обработке семян регулятором Альбит.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радченко Е. В. Создание высокопродуктивных агрофитоценозов чины посевной в чистых и смешанных посевах на черноземах Саратовского Правобережья. Электронная библиотека диссертаций. 2006. URL: <http://www.dissercat.com/content/sozdanie-vysokoproduktivnykh>.

2. *Арсений А. А.* Изучение вопросов агротехники возделывания гороха и чины в условиях центральной зоны Молдавии: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Кишинев, 1968. 24 с.
3. *Фарниев А. Т., Посыпанов Г. С.* Биологическая фиксация азота воздуха, урожайность и белковая продуктивность бобовых культур в Алании. Владикавказ: Иростон, 1997. 210 с.
4. *Хамоков Х. А.* Урожайность и качество семян зернобобовых в зависимости от сортовых особенностей и условий возделывания // *Зерновое хозяйство*. 2006. № 6. С. 30–31.
5. *Хамуков В. Б., Жеруков Б. И.* Оптимальная обеспеченность подвижным фосфором для максимальной симбиотической азотфиксации бобовых культур // *Химия в сельском хозяйстве*. 1997. № 1. С. 35–37.
6. *Царев А. П.* Агробиологические основы формирования высокопродуктивных агрофитоценозов кормовых культур на корм и семена в степной зоне Поволжья: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Саратов, 1996. 24 с.
7. *Ахундова В. А.* Морфогенез и особенности потенциальной и реальной продуктивности однолетних бобовых растений // *Интродукция нетрадиционных и редких сельскохозяйственных растений: Материалы IV международной научной конференции*. Ульяновск, 2002. Т. 1. С. 209–211.
8. *Донской М. М.* Агробиологические особенности чины посевной (*Lathyrus sativus* L.) в условиях Центрально-Черноземного региона: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01. Орел, 2013. 20 с.
9. *Донской М. М., Наумкин В. П.* Цветение и урожайность сортообразцов чины посевной различных эколого-географических групп // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2014. № 1(9). С. 45–52.
10. *Донская М. В., Донской М. М., Наумкин В. П.* Изучение перспективных сортообразцов чины посевной по комплексу признаков // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018. № 4(28). С. 113–119.
11. *Вишнякова М. А., Бурляева М. О.* Потенциал хозяйственной ценности и перспективы использования российских видов чины // *Сельскохозяйственная биология*. 2006. № 6. С. 85–97.
12. *Танделова Э. А., Абаев А. А.* Экономическая оценка возделывания чины посевной в зависимости от изучаемых факторов в условиях лесостепной зоны РСО-Алания // *Развитие научного наследия Н. И. Вавилова по генетическим ресурсам его последователями: Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием*. Дербент, 2017. С. 289–292.
13. *Танделова Э. А.* Влияние сроков, способов и норм высева на продуктивность чины посевной // *Перспективы развития АПК в современных условиях: Материалы 7-й Международной научно-практической конференции, 12–14 апреля 2017*. Владикавказ, 2017. С. 10–13.
14. *Абаев А. А., Тедеева А. А., Мамиев Д. М., Тедеева В. В.* Влияние сроков посева на продуктивность различных сортов сои // *Научная жизнь*. 2016. № 5. С. 33–42.
15. *Тедеева А. А., Хохоева Н. Т., Абаев А. А. и др.* Оптимизированные элементы технологии возделывания чины посевной в условиях Предгорной зоны Центрального Кавказа. Владикавказ, 2017. 39 с.
16. *Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Информация об авторах

Батырова Муслимат Руслановна, соискатель кафедры землеустройства и кадастров, Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова; 367032, Россия, Махачкала, ул. М. Гаджиева, 180; kameli55@mail.ru

Мусаев Магомед Расулович, д-р биол. наук, проф., зав. кафедрой землеустройства и кадастров, Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова;

367032, Россия, Махачкала, ул. М. Гаджиева, 180;
musaev5858@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3170-2086>

Магомедова Аминат Ахмедовна, канд. с.-х. наук, доц., Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова;

367032, Россия, Махачкала, ул. М. Гаджиева, 180;
daggau_aminat@mail.ru

Мусаева Зарема Магомедовна, канд. с.-х. наук, доц., Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова;

367032, Россия, Махачкала, ул. М. Гаджиева, 180;
zareyka_76@mail.ru

REFERENCES

1. Radchenko E.V. *Sozдание vysokoproduktivnykh agrofитocenozov chiny posevnoj v chistyh i smeshannykh posevakh na chernozemakh Saratovskogo Pravoberezh'ya* [Creation of highly productive agrophytocenoses of grass peavine in pure and mixed crops on chernozems of the Saratov Right Bank]. *Elektronnaya biblioteka dissertatsiy*. 2006. URL: <http://www.dissercat.com/content/sozдание-vysokoproduktivnykh>. (in Russian)

2. Arseniy A.A. *Izucheniye voprosov agrotekhniki vzdelyvaniya gorokha i chiny v usloviyakh tsentral'noy zony Moldavii* [Studying the issues of agrotechnics of pea cultivation and grass peavine in the conditions of the central zone of Moldova]: *avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk*. Kishinev, 1968. 24 p. (in Russian)

3. Farniev A.T., Posypanov G.S. *Biologicheskaya fiksatsiya azota vozdukh, urozhaynost' i belkovaya produktivnost' bobovykh kul'tur v Alanii* [Biological fixation of air nitrogen, yield and protein productivity of legumes in Alanya]. Vladikavkaz: Iriston, 1997. 210 p. (in Russian)

4. Khamokov H.A. *Urozhaynost' i kachestvo semyan zernobobovykh v zavisimosti ot sortovykh osobennostey i usloviy vzdelyvaniya* [Productivity and quality of leguminous seeds depending on varietal characteristics and cultivation conditions]. *Grain farming*. 2006. No. 6. Pp. 30–31. (in Russian)

5. Khamukov V.B., Zherukov B.I. *Optimal'naya obespechennost' podvizhnym fosforom dlya maksimal'noy simbioticheskoy azotfiksatsii bobovykh kul'tur* [Optimal availability of mobile phosphorus for maximum symbiotic nitrogen fixation of legumes]. *Chemistry in agriculture*. 1997. No. 1. Pp. 35–37. (in Russian)

6. Tsarev A.P. *Agrobiologicheskiye osnovy formirovaniya vysokoproduktivnykh agrofитotsenozov kormovykh kul'tur na korm i semena v stepnoy zone Povolzh'ya* [Agrobiological foundations of the formation of highly productive agrophytocenoses of fodder crops for feed and seeds in the steppe zone of the Volga region]: *avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk*. Saratov, 1996. 24 p. (in Russian)

7. Akhundova V.A. Morphogenesis and features of potential and real productivity of annual legumes. *Introduktsiya netraditsionnykh i redkikh sel'skokhozyaystvennykh rasteniy* [Introduction of non-traditional and rare agricultural plants]: *Materialy IV mezhdunarodnoy nauchnoy konferencii*. Ulyanovsk, 2002. Vol. 1. Pp. 209–211. (in Russian)

8. Donskoy M.M. *Agrobiologicheskiye osobennosti chiny posevnoy (Lathyrus sativus L.) v usloviyakh Tsentral'no-Chernozemnogo regiona* [Agrobiological features of the grass peavine (*Lathyrus sativus* L.) in the conditions of the Central Chernozem region]: *avtoref. diss. kand. s.-kh. nauk: 06.01.01*. Orel, 2013. 20 p. (in Russian)

9. Donskoy M.M., Naumkin V.P. Blooming and yield of cultivars of the grass peavine of various ecological and geographical groups. *Legumes and goat crops*. 2014. No. 1(9). Pp. 45–52. (in Russian)

10. Donskaya M.V., Donskoy M.M., Naumkin V.P. The study of promising cultivars of the grass peavine of sowing according to the complex of signs. *Legumes and cereal crops*. 2018. No. 4(28). Pp. 113–119. (in Russian)
11. Vishnyakova M.A., Burlyayeva M.O. The potential of economic value and prospects for the use of Russian types of peavine. *Agricultural biology*. 2006. No. 6. Pp. 85–97. (in Russian)
12. Tandelova E.A., Abaev A.A. Economic assessment of the cultivation of grass peavine depending on the studied factors in the conditions of the forest-steppe zone of the RS-Alania. *Razvitie nauchnogo naslediya N. I. Vavilova po geneticheskim resursam ego posledovatelyami* [Development of N.I. Vavilov's scientific heritage on genetic resources by his followers]: *Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiyem*: Derbent [All-Russia scientific-practical conference with international participation]. Derbent, 2017. Pp. 289–292. (in Russian)
13. Tandelova E.A. The influence of timing, methods and seeding norms for the productivity of the grass peavine. *Perspektivy razvitiya APK v sovremennykh usloviyakh* [Prospects for the development of agriculture in modern conditions]: *Materialy 7-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Vladikavkaz, 2017. Pp. 10–13. (in Russian)
14. Abaev A.A., Tedeeva A.A., Mamiev D.M., Tedeeva V.V. The influence of sowing dates on the productivity of various soybean varieties. *Scientific life*. 2016. No. 5. Pp. 33–42. (in Russian)
15. Tedeeva A.A., Khokhoeva N.T., Abaev A.A. [et al] *Optimizirovannyye elementy tekhnologii vozdeleyvaniya chiny posevnoy v usloviyakh Predgornoy zony Tsentral'nogo Kavkaza* [Optimized elements of the technology of cultivation of the grass peavine in the conditions of the foothill zone of the Central Caucasus]. Vladikavkaz, 2017. 39 p. (in Russian)
16. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Methodology of field experience]. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p. (in Russian)

Information about the authors

Batyrova Muslimat Ruslanovna, Candidate of the Department of Land Management and Cadastre, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov;
367032, Russia, Makhachkala, 180 M. Gadzhiyev street;
kameli55@mail.ru

Musaev Magomed Rasulovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Land Management and Cadastre, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov;
367032, Russia, Makhachkala, 180 M. Gadzhiyev street;
musaev5858@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3170-2086>

Magomedova Aminat Akhmedovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov;
367032, Russia, Makhachkala, 180 M. Gadzhiyev street;
daggau_aminat@mail.ru

Musaeva Zarema Magomedovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov;
367032, Russia, Makhachkala, 180 M. Gadzhiyev street;
zaremka_76@mail.ru

Повышение продуктивности сортов суданской травы на фоне обработки стимулятором роста Райкат Старт

Б. Ш. Кудаева, М. Р. Мусаев

Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова
367032, Россия, Махачкала, ул. М. Гаджиева, 180

Аннотация. Суданская трава – перспективная засухоустойчивая кормовая культура. В условиях континентального климата нашей страны с ее эпизодически возникающими засухами и наличием значительных площадей засоленных почв суданская трава является перспективной засухоустойчивой кормовой культурой. Засухоустойчивость данной культуры обеспечивается благодаря мощной корневой системе, которая позволяет использовать воду глубинных слоев почвы. Однако в период всходы – кущение отмечается медленный рост надземной массы, так как в это время активно развивается корневая система. Так, на формирование первых пяти листьев ей необходимо 5–6 недель. Поэтому вопрос использования стимуляторов роста для активизации ростовых процессов в начальные фазы развития является актуальным. С учетом вышеизложенного, с целью подбора сортов суданской травы на фоне обработки стимулятором роста Райкат Старт на средnezасоленных светло-каштановых почвах Терско-Сулакской подпровинции Дагестана были проведены полевые исследования. В результате выявлено, что наибольшие показатели фотосинтетической деятельности сортов данной культуры наблюдались при обработке посевов дозой стимулятора 10,0 л/га. По сравнению с контролем (обработка водой) в среднем по сортам площадь листьев и чистая продуктивность фотосинтеза были выше на 9,7 и 14,3 %. Анализ формирования этих показателей в зависимости от изучаемых сортов показал, что на посевах сортов Алиса и Грация они были значительными и составили соответственно 46,8–46,2 тыс. м²/га и 4,90–4,78 г/ м²-сутки. Сорта суданской травы достаточно высокую урожайность зеленой массы обеспечили на варианте с дозой стимулятора 10,0 л/га, что больше данных контроля на 16,9 %. На делянках с дозами 2,0 и 6,0 л/га превышение варьировало в пределах от 5,3 до 9,9 %. В среднем по вариантам с дозами стимулятора роста Райкат Старт урожайность сортов Алиса и Грация составила 54,4 и 53,8 т/га, что выше данных стандарта (Александрина) и сортов Анастасия и Спутница соответственно на 10,0–9,1; 12,2–10,9 и 8,8–7,6%. Минимальные данные отмечены на посевах сорта Анастасия.

Ключевые слова: Терско-Сулакская подпровинция Дагестана, светло-каштановые почвы, суданская трава, сорта, стимулятор роста Райкат Старт, дозы применения, фотосинтетическая деятельность, урожайность

Поступила 04.10.2022, одобрена после рецензирования 10.10.2022, принята к публикации 14.10.2022

Для цитирования. Кудаева Б. Ш., Мусаев М. Р. Повышение продуктивности сортов суданской травы на фоне обработки стимулятором роста Райкат Старт // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 124–131. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-124-131

Original article

Increasing the productivity of varieties of Sudanese grass against the background of treatment with a growth stimulant Raikat Start

B.Sh. Kudaeva, M.R. Musaev

Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov
367032, Russia, Makhachkala, 180 M. Gadzhiev street

Annotation. Sudanese grass is a promising drought-resistant forage crop. In the conditions of the continental climate of our country, with its occasional droughts and the presence of significant areas of saline soils, Sudanese grass is a promising drought-resistant forage crop. Drought resistance of this crop is ensured thanks to a powerful root system, which allows the use of water from the deep layers of the soil. However, during the period of germination, there is a slow growth of the aboveground mass, since the root system is actively developing at this time. So, it takes 5-6 weeks for the formation of the first five leaves. Therefore, the issue of using growth stimulants to activate growth processes in the initial phases of development is relevant. Taking it into account, field studies were conducted in order to select varieties of Sudanese grass against the background of treatment with the growth stimulator Raikat Start on medium-saline light chestnut soils of the Tersko – Sulak sub-province of Dagestan. As a result, it was revealed that the highest indicators of photosynthetic activity of varieties of this crop were observed when crops were treated with a dose of 10.0 l/ha stimulant. Compared with the control (water treatment), the leaf area and net photosynthesis productivity were 9.7 and 14.3% higher on average for the varieties. The analysis of the formation of these indicators depending on the studied varieties showed that they were significant on the crops of Alice and Grazia varieties and amounted to 46.8 - 46.2 thousand m²/ha and 4.90 – 4.78 g/ m²·day, respectively. Varieties of Sudanese grass provided a sufficiently high yield of green mass on the variant with a dose of 10.0 l/ha stimulant, which is 16.9% more than the control data. In plots with doses of 2.0 and 6.0 l/ha, the excess ranged from 5.3 to 9.9%. On average, according to the variants with doses of the growth stimulant Raikat Start, the yield of Alice and Grace varieties was 54.4 and 53.8 t/ha, which is higher than the standard data (Alexandrina) and Anastasia and Sputnitsa varieties, respectively, by 10.0 – 9.1; 12.2 – 10.9 and 8.8 – 7.6%. The minimum data are marked on the crops of the Anastasia variety.

Key words: Tersko-Sulak sub-province of Dagestan, light chestnut soils, Sudanese grass, varieties, growth stimulator Raikat Start, doses of application, photosynthetic activity, yield

Submitted 04.10.2022,

approved after reviewing 10.10.2022,

accepted for publication 14.10.2022

For citation. Kudaeva B.Sh., Musaev M.R. Increasing the productivity of varieties of Sudanese grass against the background of treatment with a growth stimulant Raikat Start. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2022. No. 5 (109). Pp. 124–131. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-124-131

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Обеспечение животноводства стабильными по культурам, сбалансированными по питательности кормами с низкой себестоимостью является важной задачей сельскохозяйственного производства в целях повышения продовольственной безопасности страны. Этим требованиям, как указывают А. В. Барановский, С. И. Капустин, А. Б. Володин, А. С. Капустин, А. М. Стройный, А. Кушхов, Н. Бербекова, А. Журтов, отвечает суданская трава, которую возделывают в основном в засушливых и полувасушливых регионах по всему миру, где другие культуры не могут реализовать свою потенциальную урожайность, поскольку характеризуется засухоустойчивостью, жаростойкостью, солевыносливостью и неприхотливостью к почвам [1–5].

Такого же мнения придерживаются также Н. А. Ковтунова, В. В. Ковтунов, Е. А. Шишова, которые в засушливых условиях Ростовской области выявили эффективность выращивания сортов суданской травы [6–9].

Как известно, растения суданской травы в начальный период развития характеризуются невысокими показателями линейного роста, так как происходит укоренение корневой си-

стемы. В этой связи актуальным является поиск приемов, направленных на усиление ростовых процессов. По мнению Ю. Н. Плескачева и др. [10], наибольшая эффективность достигается при организации предпосевной обработки семян препаратами роста. В настоящее время большой популярностью пользуется органоминеральное удобрение Райкат Старт, которое, по данным производителей, значительно повышает урожай сельскохозяйственных культур с хорошими качественными показателями [11–14].

Данная культура, несмотря на указанные выше достоинства, не получила особого распространения в орошаемых условиях равнинного Дагестана, в связи с чем актуальным является проведение полевых исследований с целью разработки элементов технологии выращивания сортов суданской травы.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Наши исследования были проведены в 2020–2022 гг. на светло-каштановых среднезасоленных почвах Терско-Сулакской подпровинции Дагестана по следующей схеме.

Фактор А. Сорта – Александрина (стандарт), Алиса, Анастасия, Грация, Спутница.

Фактор В. Органоминеральное удобрение Райкат Старт для некорневой подкормки растений в фазах 2–4 и 6–8 листьев в следующих дозах: 1) 2,0 л/га; 2) 6,0 л/га; 3) 10,0 л/га.

Размещение вариантов рендомизированное, повторность четырехкратная. Площадь делянки – 50 м², а учетной – 25 м². Вегетационные поливы проводили поверхностным самоотечным способом – по бороздам.

Полевые опыты были заложены и проведены в соответствии с методическими указаниями Б. А. Доспехова [15].

Препарат «Райкат Старт» представляет собой жидкое органоминеральное удобрение, которое изготавливается на основе экстракта морских водорослей. Средство включает активные аминокислоты, цитокинины, полисахариды. Также вещество обладает сбалансированным составом микро- и макроэлементов. Содержание питательных элементов: азот общий N – 4 %, фосфор P₂O₅ – 8 %, K₂O – 3 %, В – 0,03 %, Fe – 0,1 %, Zn – 0,02 %, полисахариды – 15 %, цитокинины – 0,05 %, свободные аминокислоты – 4 %.

Райкат Старт применяется для стимулирования всхожести и энергии прорастания семян, увеличения сопротивляемости растений к болезням и неблагоприятным погодным условиям. Стимулирует развитие боковых и дополнительных корней, тем самым способствуя развитию всей корневой системы растения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБОБЩЕНИЕ

Проведенные полевые исследования указывают на целесообразность включения стимулятора роста Райкат Старт в технологию возделывания суданской травы. На первом варианте опыта (обработка водой) показатели листовой поверхности и чистой продуктивности фотосинтеза в среднем по сортам составили 44,3 тыс. м²/га и 4,55 г/м²·сутки. На делянках с дозой стимулятора роста 2,0 л/га они возросли на 3,4 и 5,0 %; при обработке дозой 6,0 л/га – на 5,9–10,1%; на третьем варианте опыта (доза 10,0 л/га) – на 9,7 и 14,3 % (рис. 1).

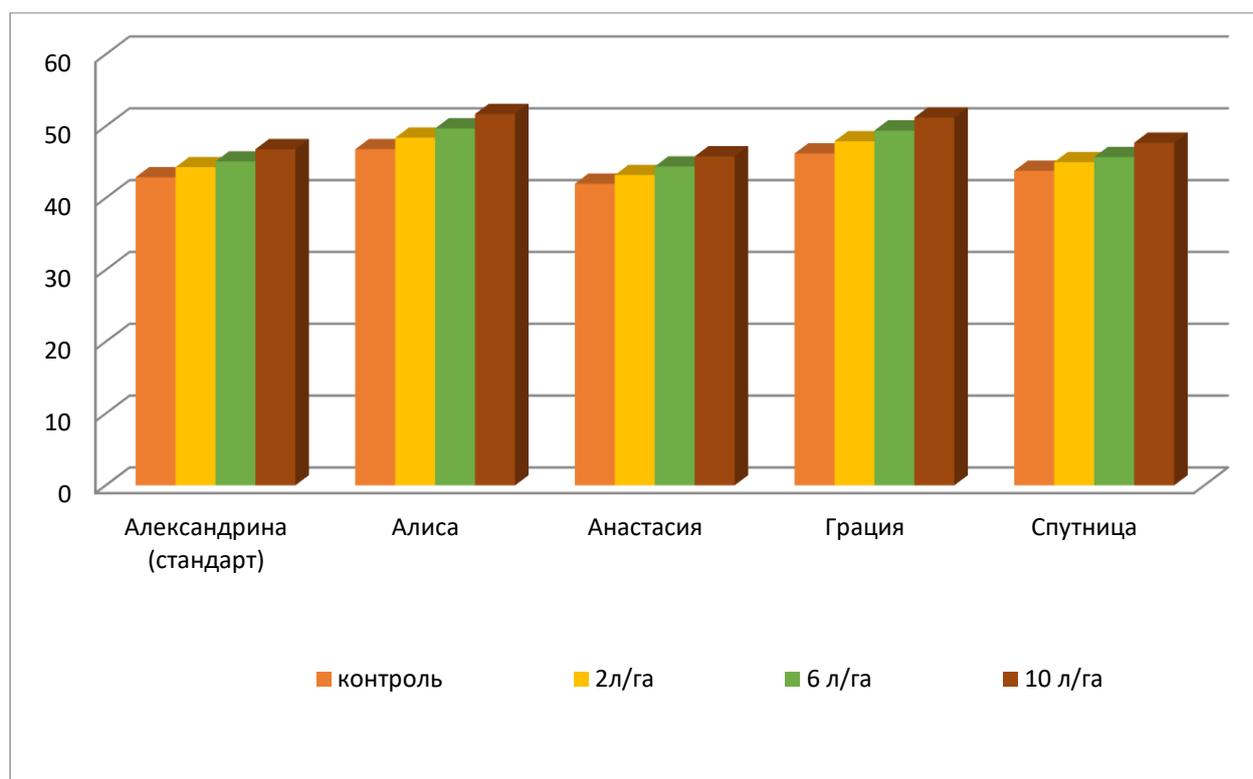


Рис. 1. Максимальная площадь листовой поверхности сортов суданской травы в зависимости от изучаемых доз органоминерального удобрения Райкат Старт, тыс. м²/га

Fig. 1. Maximum leaf surface area of Sudanese grass varieties depending on the studied doses of organomineral fertilizer Raikat Start, thousand m²/ha

Кроме того, в полевом эксперименте установлено, что на светло-каштановых средне-засоленных почвах Терско-Сулакской подпровинции Дагестана наиболее высокие показатели фотосинтетической деятельности посевов обнаружены у сортов Алиса и Грация. Так, на контрольном варианте площадь листьев и чистая продуктивность фотосинтеза у этих сортов находились на уровне 46,8–46,2 тыс. м²/га и 4,90–4,78 г/ м²·сутки. Это выше данных сорта Александрина соответственно на 9,1–7,7 и 13,9–11,2 %, больше сортов Анастасия и Спутница на 11,4–10,0 и 16,7–13,8; 6,8–5,5 и 7,7–6,0 % соответственно. Аналогичная динамика была обнаружена также на вариантах с дозами стимулятора роста Райкат Старт.

Урожайность сортов суданской травы значительно повысилась на вариантах с дозами стимулятора роста (табл. 1). На первом варианте (обработка водой) урожайность зеленой массы в среднем по сортам составила 47,4 т/га. На втором варианте опыта (2,0 л/га) она повысилась на 5,3 %, третьем (6,0 л/га) – на 9,9 %, а на четвертом варианте опыта (10 л/га) – на 16,9 %.

Сравнительные данные сортов суданской травы показали, что наиболее перспективными оказались сорта Алиса и Грация, урожайность зеленой массы которых в среднем по вариантам с дозами стимулятора роста находились на уровне 54,4 и 53,8 т/га. Данные по сортам Александрина, Анастасия и Спутница были ниже соответственно на 10,0–9,1; 12,2–10,9 и 8,8–7,6 %. Минимальные данные отмечены на посевах сорта Анастасия.

Таблица 1. Урожайность сортов суданской травы в зависимости от доз органоминерального удобрения Райкат Старт, т/га

Table 1. Productivity of varieties of Sudanese grass depending on the doses of organomineral fertilizer Raikat Start, t/ha

Сорт	Годы			Средняя
	2020	2021	2022	
Контроль (обработка водой)				
Александрина (стандарт)	44,1	45,8	47,6	45,8
Алиса	48,8	50,6	52,2	50,5
Анастасия	43,6	45,2	46,7	45,2
Грация	48,0	49,8	51,1	49,6
Спутница	44,9	46,3	47,2	46,1
Обработка дозой 2,0 л/га				
Александрина (стандарт)	46,2	48,0	50,1	48,1
Алиса	51,5	53,0	54,9	53,1
Анастасия	45,4	47,3	48,7	47,1
Грация	50,6	52,2	54,4	52,4
Спутница	46,8	48,7	51,0	48,8
Обработка дозой 6,0 л/га				
Александрина (стандарт)	48,0	49,9	52,1	50,0
Алиса	53,6	55,2	57,4	55,4
Анастасия	47,0	49,1	51,5	49,2
Грация	53,0	54,7	57,0	54,9
Спутница	49,0	50,6	53,0	50,9
Обработка дозой 10,0 л/га				
Александрина (стандарт)	51,1	53,0	55,8	53,3
Алиса	57,0	58,6	60,8	58,8
Анастасия	50,5	52,0	54,8	52,4
Грация	56,5	57,9	60,3	58,2
Спутница	52,2	53,6	57,0	54,3
НСР ₀₅ А	1,2	1,1	1,4	
НСР ₀₅ В	1,1	1,0	1,2	
НСР ₀₅ А+В	1,8	1,7	2,1	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, сорта суданской травы наибольшую продуктивность обеспечили при некорневой подкормке растений в фазах 2–4 и 6–8 листьев стимулятором роста Райкат Старт дозой 10 л/га. Среди сортов наибольшую продуктивность сформировали Алиса и Грация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барановский А. В. Совершенствование основных элементов технологии возделывания зернового сорго гибрида Свифт в засушливых условиях Донбасса // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. Т. 2. № 76. С. 69–72.

2. Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С., Стройный А. М. Продуктивность суданской травы в Центральном Предкавказье // Таврический вестник аграрной науки. 2019. Т. 1. № 17. С. 62–70. <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2019-1-17-62-70>.
3. Kushkhov A., Berbekova N., Zhurtov A. Productivity of sudan grass and sorghum-sudan-grass hybrids depending on seeding rates and planting methods in the steppe dryland zone of the Kabardino-Balkarian Republic // *E3S Web of Conferences*. 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126201012>.
4. Daba A.W., Bethel N.L. M., Bekele T. Evaluation of some selected forage grasses for their salt tolerance, ameliorative effect and biomass yield under salt affected soil at Southern Afar, Ethiopia // *Journal of Soil Science and Environmental Management*. 2019. Vol. 10. No. 5. Pp. 94–102. <https://doi.org/10.5897/jssem2018.0754>.
5. Rajani V., Ramesh K., Anatika N. Drought Resistance Mechanism and Adaptation to Water Stress in Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] // *International Journal of Bio-resource and Stress Management*. 2018. No. 9. Pp. 167–172. <https://doi.org/10.23910/IJBSM/2018.9.1.3C0472>.
6. Ковтунова Н. А. Биологические особенности роста и развития суданской травы // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30, № 6. С. 48–51.
7. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Шишова Е. А. Влияние метеорологических условий на урожайность и качество зеленой массы суданской травы // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2016. №3. С. 39–41.
8. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В. Использование сорго и основные направления селекционной работы во ВНИИЗК им. И. Г. Калининко // *Таврический вестник аграрной науки*. 2016. № 3(7). С. 60–70.
9. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Горпиниченко С. И. Современная оценка питательности кормов из сорговых культур // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2016. №123. С. 783–792.
10. Плескачев Ю. Н., Лаптина Ю. А., Гиченкова О. Г., Куликова Н. А. Продуктивность и питательная ценность суданской травы при возделывании на зеленый корм // *Аграрный научный журнал*. 2021. №8. С. 28–33.
11. Дрена Е. Б., Сухарева А. А., Сухарев С. А. Влияние минеральных удобрений и стимуляторов корнеобразования на рост озимой мягкой пшеницы // *Вестник АПК Ставрополя*. 2019. № 1 (33). С. 78–82.
12. Жеруков Б. Х., Магомедов К. Г., Магомедов М. К. Повышение полевой всхожести семян суданской травы // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*. 2005. № 4. С. 48–50.
13. Жолик Г. А., Луковец А. М., Ключник А. Л. Влияние стимулятора роста Райкат на рост, развитие и продуктивность озимого рапса // *Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сборник научных трудов*. Гродно: ГГАУ, 2016. Т. 32. С. 76–82.
14. Митрофанов С. В., Кузьмин Н. А. Эффективность использования гуминовых удобрений и биопрепаратов при предпосевной обработке семян ячменя ярового // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева*. 2017. № 3(35). С. 52–58.
15. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Информация об авторах

Кудаева Белаянам Шамсутдиновна, соискатель кафедры землеустройства и кадастров, Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова; 367032, Россия, Махачкала, ул. М. Гаджиева, 180; bel.a.kudaeva@mail.ru

Мусаев Магомед Расулович, д-р биол. наук, проф., зав. кафедрой землеустройства и кадастров, Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова; 367032, Россия, Махачкала, ул. М. Гаджиева, 180; musaev5858@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3170-2086>

REFERENCES

1. Baranovsky A.V. Improvement of the basic elements of the technology of cultivation of grain sorghum hybrid Swift in arid conditions of Donbass. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News of the Orenburg State Agrarian University]. 2019. Vol. 2. No. 76. Pp. 69–72. (in Russian)
2. Kapustin S.I., Volodin A.B., Kapustin A.S., Stroyny A.M. Productivity of Sudanese grass in the Central Caucasus. *Taurida herald of the agrarian sciences*. 2019. Vol. 1. No. 17. Pp. 62–70. <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2019-1-17-62-70>. (in Russian)
3. Kushkhov A., Berbekova N., Zhurtov A. Productivity of Sudanese grass and sorghum-sudangrass hybrids depending on seeding rates and planting methods in the steppe dryland zone of the Kabardino-Balkarian Republic. *E3S Web of Conferences*. 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126201012>.
4. Daba A.W., Bethel N.L. M., Bekele T. Evaluation of some selected forage grasses for their salt tolerance, ameliorative effect and biomass yield under salt affected soil at Southern Afar, Ethiopia. *Journal of Soil Science and Environmental Management*. 2019. Vol. 10. No. 5. Pp. 94–102. <https://doi.org/10.5897/jsem2018.0754>.
5. Rajani V., Ramesh K., Anamika N. Drought Resistance Mechanism and Adaptation to Water Stress in Sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench]. *International Journal of Bioresource and Stress Management*. 2018. No. 9. Pp. 167–172. <https://doi.org/10.23910/ijbsm/2018.9.1.3c0472>
6. Kovtunova N. A. Biological features of the growth and development of Sudanese grass. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2016. Vol. 30. No. 6. Pp. 48–51. (in Russian)
7. Kovtunova N.A., Kovtunov V.V., Shishova E.A. The influence of meteorological conditions on the yield and quality of the green mass of Sudanese grass. *Bulletin of the Russian Agricultural Science*. 2016. No. 3. Pp. 39–41. (in Russian)
8. Kovtunova N.A., Kovtunov V.V. The use of sorghum and the main directions of breeding work in the I. G. Kalinenko VNIIZK. *Taurida herald of the agrarian sciences*. 2016. No. 3(7). Pp. 60–70. (in Russian)
9. Kovtunova N.A., Kovtunov V.V., Gorpichenko S.I. Modern assessment of the nutritional value of feed from sorghum crops. *Polythematic online scientific journal of Kuban state agrarian university*. 2016. No. 123. Pp. 783 – 792. (in Russian)
10. Pleskachev Yu.N., Laptina Yu.A., Gichenkova O.G., Kulikova N.A. Productivity and nutritional value of Sudanese grass when cultivated for green fodder. *Agrarian Scientific Journal*. 2021. No. 8. Pp. 28–33. (in Russian)
11. Drepa E.B., Sukhareva A.A., Sukharev S.A. Influence mineral fertilizers and root formation stimulators for the growth of winter soft wheat. *Agricultural bulletin of Stavropol region*. 2019. No. 1 (33). Pp. 78–82. (in Russian)
12. Zherukov B.H., Magomedov K.G., Magomedov M.K. Increasing field germination of seeds of Sudanese grass. *Bulletin of higher educational institutions. North Caucasus region. Natural sciences*. 2005. No. 4. Pp. 48–50. (in Russian)

13. Zholik G.A., Lukovets A.M., Klyuchnik A.L. The influence of the growth stimulator Raikat on the growth, development and productivity of winter rapeseed. *Sel'skoye khozyaystvo - problemy i perspektivy* [Agriculture - problems and prospects]: *sbornik nauchnih trudov*. Grodno: GGAU, 2016. Vol. 32. Pp. 76–82. (in Russian)

14. Mitrofanov S.V., Kuzmin N.A. The efficiency of using gum fertilizers and biological products in the pre-sowing treatment of spring barley seeds. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva* [Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev]. 2017. No. 3(35). Pp. 52–58. (in Russian)

15. Dospekhov B. A. *Metodika polevogo opyta* [Methodology of field experience]. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p. (in Russian)

Information about the authors

Kudaeva Belakhanym Shamsutdinovna, Applicant of the Department of Land Management and Cadastre, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov;

367032, Russia, Makhachkala, 180 M. Gadzhiyev street;
bela.kudaeva@mail.ru

Musaev Magomed Rasulovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Land Management and Cadastre, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov;

367032, Russia, Makhachkala, 180 M. Gadzhiyev street;
musaev5858@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3170-2086>

Влияние способов посева на противоэрозионную эффективность, урожайность и качество зерна колосовых культур на склоновых землях Кабардино-Балкарской Республики

Х. Ш. Тарчоков, М. М. Чочаев, А. И. Сарбашева,
О. Х. Матаева, А. Х. Шогенов

Институт сельского хозяйства –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН
360004, Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224

Аннотация. Исследования проводили с целью изучения влияния способов посева на интенсивность эрозионных процессов, урожайность и качество зерна сельскохозяйственных культур в условиях склонового земледелия Кабардино-Балкарской Республики. Работа выполнена в 2018–2020 гг. в среднегорной зоне на склоне северо-западной экспозиции крутизной 3–6°, высота над уровнем моря – 980 м. Схема опыта предусматривала размещение исследуемых культур по разным вариантам склона – верхняя (водораздел), средняя и нижняя части при посеве вдоль и поперек опытного участка. Материалом для исследований служили сорта озимой пшеницы Южанка и ярового ячменя Эней-УА. В результате полевых опытов выявлено, что применение способа посева поперек склона является одним из важнейших доступных агроприемов для борьбы с водной эрозией на склоновых землях крутизной от 3 до 6°, позволяет снизить объем смыва почвы в 2,5 раза и повысить урожайность колосовых культур сплошного сева на 2,2–3,0 ц/га. Противоэрозионная роль такого способа посева связана с тем, что поперечный посев колосовых культур изменяет микрорельеф пашни в сторону образования мелких борозд перпендикулярно направлению стока, увеличивает шероховатость поверхности, уменьшает макрорасчлененность склона, что способствует значительному снижению интенсивности эрозионных процессов и повышению урожайности полевых культур. Результаты исследований рекомендовано включить в систему обязательных агроприемов при возделывании колосовых культур сельхозорганизациями всех категорий на склоновых землях среднегорной природно-климатической зоны Кабардино-Балкарской Республики. Научно-исследовательскими учреждениями в последние годы предложено немало противоэрозионных мероприятий, направленных на дальнейшую разработку вопросов теории и практики почвозащитного земледелия в зональном аспекте, и прежде всего влияние механизма эрозионных процессов на изменение плодородия почв и разработку как отдельных почвозащитных приемов, так и региональных комплексов. Однако эти противоэрозионные мероприятия могут дать положительный результат тогда, когда будут испытаны в различных регионах с учетом особенностей природно-климатических условий республики. Целью данной работы является изучение влияния способов посева на интенсивность эрозионных процессов, урожайность и качество зерна колосовых культур на склоновых землях Кабардино-Балкарской Республики.

Ключевые слова: почвы, склоны, осадки, эрозия, учетный профиль, смыв почвы, водоройны, плодородие, урожайность

Поступила 29.09.2022, одобрена после рецензирования 07.10.2022, принята к публикации 14.10.2022

Для цитирования. Тарчоков Х. Ш., Чочаев М. М., Сарбашева А. И., Матаева О. Х., Шогенов А. Х. Влияние способов посева на противоэрозионную эффективность, урожайность и качество зерна колосовых культур на склоновых землях Кабардино-Балкарской Республики // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 132–148. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-132-148

Influence of sowing methods on anti-erosion efficiency, productivity and grain quality of spiked crops on sloping lands of the Kabardino-Balkarian Republic

Kh.Sh. Tarchokov, M.M. Chochaev, A.I. Sarbasheva,
O.Kh. Mataeva, A.Kh. Shogenov

Institute of Agriculture –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360004, Russia, Nalchik, 224 Kirov street

Annotation. The research was carried out in order to study the influence of sowing methods on the intensity of erosion processes, productivity and grain quality of agricultural crops in the conditions of slope agriculture of the Kabardino-Balkarian Republic. The work was carried out in 2018-2020 in the mid-mountain zone on the slope of the northwestern exposure with a steepness of 3-6°, an altitude of 980m above sea level. The scheme of the experiment provided for the placement of the studied crops along different variants of the slope of the upper (watershed), middle and lower parts when sowing along and across the experimental plot. The material for the research was the winter wheat variety Yuzhanka and the spring barley variety Eney-UA. As a result of field experiments, it was revealed that the use of the method of sowing across the slope is one of the most important of available agricultural practices for combating water erosion on sloping lands with a steepness of 3 to 6 degrees, decreasing the slope erosion 2.5 times and providing increase of grain yields about 2.2-3.0 c/ha. The anti-erosion role of this method of sowing is due to the fact that the transverse sowing of cereal crops changes the microrelief of arable land towards the formation of small furrows perpendicular to the direction of runoff, increases the surface roughness, reduces the macro-dissection of the slope, which contributes to a significant decrease in the intensity of erosion processes and an increase in field crop yields. The results of the research are recommended to be included in the system of mandatory agricultural practices in the cultivation of cereal crops by agricultural organizations of all categories on the sloping lands of the mid-mountain natural - climatic zone of the Kabardino-Balkarian Republic. In recent years, research institutions have proposed many anti-erosion measures aimed at further development of the theory and practice of soil-protective agriculture in the zonal aspect, and above all, the influence of the mechanism of erosion processes on changes in soil fertility and the development of both individual soil-protective methods and regional complexes. However, these anti-erosion measures can provide a positive result when they are tested in different regions, taking into account the peculiarities of the natural and climatic conditions of the Republic. The purpose of this work is to study the influence of sowing methods on the intensity of erosion processes, the yield and quality of grain of spiked crops on the sloping lands of the Kabardino-Balkarian Republic.

Key words: soils, slopes, precipitation, erosion, accounting profile, soil runoff, waterholes, fertility, productivity

Submitted 29.09.2022,

approved after reviewing 07.10.2022,

accepted for publication 14.10.2022

For citation. Tarchokov Kh.Sh., Chochaev M.M., Sarbasheva A.I., Mataeva O.Kh., Shogenov A.Kh. Influence of sowing methods on anti-erosion efficiency, productivity and grain quality of spiked crops on sloping lands of the Kabardino-Balkarian Republic. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 5 (109). Pp. 132–148. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-132-148

ВВЕДЕНИЕ

Значительная часть сельскохозяйственных земель России подвержена различным эрозийным процессам. Эрозия является одним из самых опасных негативных процессов, вызывающих деградацию и уничтожение почвенного покрова и наносящих ущерб земельным ресурсам и окружающей среде. Современная водная эрозия проявляется повсеместно при сочетании антропогенных, природных и климатических условий. Эрозионные процессы не

только разрушают почвенную структуру, ухудшают водно-физические свойства почв, но и способствуют выносу основных элементов питания растений. Защита почвы имеет важнейшее значение в жизни и питании человека. В результате различных воздействий земля подвергается биологической деградации, становится экологически загрязненной, а плодородие почвы в сельском хозяйстве снижается. В результате антропогенных процессов полезный фонд земель разрушен, плодородные земли взяты под различные постройки и дороги. Процессы эрозии и депрессии в производстве носят глобальный характер, и площадь пахотных земель уменьшается с каждым годом [1]. Поэтому трудно переоценить всю важность этой проблемы с точки зрения охраны и рационального использования земельных ресурсов.

Почвенный покров Кабардино-Балкарии относится к основным природным ресурсам республики. Однако сочетание неблагоприятных природно-климатических условий, длительное применение на склоновых землях обычной агротехники без почвозащитных технологий привели к ускоренному развитию эрозии почв. В балансе почвенных ресурсов республики имеется более 290,0 тыс. га средне- и сильно смытых почв, заметно утративших свое первоначальное плодородие, и свыше 45,0 тыс. га пашни на склонах, нуждающихся в постоянной и надежной защите от разрушительного влияния эрозионных процессов [2].

Для ведения интенсивного сельскохозяйственного производства на этих землях необходимо предвидеть проявление эрозионно-денудационных процессов, способных снизить плодородие почв, привести к эрозионному расчленению территории. Существенное влияние на интенсивность эрозионных процессов оказывают природные и антропогенные факторы: частота и интенсивность выпадающих осадков, характер снеготаяния, растительность, система земледелия [3].

По характеру рельефа территорию Кабардино-Балкарии можно разделить на две части: большую горную и меньшую равнинную. Между ними как переходная полоса протянулась предгорная часть, вытянутая с юго-запада на юго-восток с высотами от 500 до 700 м и выше, а также меловой хребет, средняя часть которого достигает 1000 м, а некоторые его вершины – 1300–1500 м над уровнем моря. Такое расположение землепользования и предопределило наличие значительного количества склоновых земель.

Согласно земельному учету на 01.01.2021 года территория республики составляет 1247,0 тыс. га. Из этой площади 235063 га с уклонами менее 1° – 18,87 % от общей площади; 209652 га – от 1 до 3° (16,82 %); 70511 – от 3 до 5° (5,68 %); 88615 га – от 5 до 8° (7,13 %); 21218 га – от 8 до 16° (16,19 %) и 442459 га – более 16° (35,31 %) [4].

Используемая в настоящее время технология и комплекс сельскохозяйственных машин для возделывания сельскохозяйственных культур на склоновых землях в основном разработаны для равнинных территорий и поэтому не обеспечивают надежную защиту почв от эрозии и получение устойчивых урожаев. Сплошная распашка почв без надлежащего учета их качества, применение шаблонной агротехники, а также слабая изученность эродированных почв и приемов их защиты способствовали усилению водной эрозии [5].

Из-за сложности рельефа и мелкоконтурности земельных угодий, нерационального использования склоновых земель в ряде районов республики процесс разрушения почв принял угрожающий характер. С каждым последующим годом верхний слой почвы становится более податливым разрушительному воздействию, теряет плодородие на больших площадях и становится непригодным для возделывания сельскохозяйственных культур [6].

Природные факторы лишь создают условия для возникновения эрозии, определяют возможность ее проявления, а реализуется эта возможность при неправильной хозяйственной деятельности человека. Поэтому главной причиной активизации процессов эрозии, катастрофического увеличения площадей эродированных земель на территории республики яв-

ляется несоблюдение на фоне благоприятных для развития эрозии природных условий основных противоэрозионных мероприятий при различных видах хозяйственной деятельности и прежде всего в сельскохозяйственном производстве.

Интенсивная обработка почв тяжелыми тракторами, частая культивация пропашных культур, малый удельный вес в структуре посевных площадей многолетних трав (или вообще их отсутствие) приводят к сильному распылению почв, разрушению агрономически ценной структуры, заметному снижению водопроницаемости и поглотительной способности и в конечном счете к резкому снижению противоэрозионной устойчивости. Все эти процессы привели к активизации антропогенной почвенной эрозии на полях региона через изменения ряда физических свойств (прежде всего ее переуплотнение). В результате этого усилился смыв и размыв почвы [7].

По данным института Севкавказпрозем, на горных выщелоченных и обыкновенных черноземах, которые преобладают на склоновых землях Кабардино-Балкарии, содержание гумуса составляет в среднем на незероированных почвах 8,6 %, среднесмытых – 5,4 % и сильносмытых – 3,0 %. В результате эрозии на некоторых почвах республики снизилась мощность гумусового слоя на 30–40 см и более [8].

Задачи борьбы с эрозией почв и повышения продуктивности земель неотделимы одна от другой. Требования повышения интенсификации использования эрозионно-опасных земель диктуют необходимость усиления мер защиты почв от эрозии. Система мер по охране почв эрозионных и эрозионно-аккумулятивных структур должна строиться с учетом сельскохозяйственного использования земель, дифференцированно для пахотных, естественных кормовых угодий и многолетних плодовых насаждений.

Поскольку противоэрозионные мероприятия должны охватывать одновременно весь водосборный бассейн и в первую очередь склоны сверху донизу, при проектировании и осуществлении мер по охране почв от эрозии необходимо учитывать специфику почвенного покрова, противоэрозионную устойчивость почв как внутри отдельных поясов, выделяемых на склонах, так и в целом по сформированной на них структуре вертикальной поясности.

Научными исследованиями и практикой передовых хозяйств установлено, что эффективная защита почв от эрозии достигается лишь на основе применения целого почвозащитного комплекса, включающего в себя противоэрозионную организацию территории, агротехнические, агролесомелиоративные и гидротехнические мероприятия [9].

Только комплексное проведение всех противоэрозионных мероприятий в сельхозорганизациях позволяет остановить эрозионные процессы, стабилизировать и повысить плодородие эродированных почв, вовлечь в сельскохозяйственный оборот ранее непригодные земли.

Проблема почвозащитной организации территории склоновых земель очень актуальна. Без сохранения воспроизводства почвенного плодородия нельзя обеспечить постоянный рост продуктивности и устойчивости земледелия. Внедрение почвозащитных систем обработки почвы и посева является одной из приоритетных задач современного земледелия [10].

Проблемы закономерностей проявления водной эрозии и разработки мер борьбы с ними в разные годы изучались в Северо-Кавказском НИИ горного и предгорного сельского хозяйства (г. Владикавказ). Среди многих направлений научно-исследовательской работы, проводимой в институте, особого внимания заслуживают исследования: К. Х. Бясова «Эрозия почв гор и предгорий Северного Кавказа», Владикавказ, 2001; Р. А. Танделова, Э. Д. Адиньяева «Вынос основных элементов питания с эрозионными процессами в зависимости от способа обработки почв», Владикавказ, 2004; П. М. Шорина, А. К. Агаева «Влияние севооборота на физико-химические условия горной зоны. Пути предотвращения деградации и восстановления их плодородия».

В основном эти научные исследования посвящены выявлению смыва и размыва под различными культурами в почвозащитных севооборотах, а также воздействию различных агроприемов на физические свойства почв, рост и развитие, урожайность и качество продукции на склоновых землях различной крутизны.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в соответствии с учебником «Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований» [11], методическими рекомендациями по учету поверхностного стока и смыва почвы при изучении водной эрозии [12]. Почва опытного участка представлена типичным горным черноземом с хорошо выраженной комковато-зернистой структурой. Подвижные формы фосфора и калия определяли по методу Мачигина, гумус – по методу Тюрина. Приготовление солевой вытяжки и определение pH по методу ЦИНАО. Пахотный слой чернозема мощностью 0–30 см перед закладкой опыта имел следующие агрохимические показатели: pH – 5,8–6,7; содержание гумуса – 5,0–6,1 %; общего азота – 21,1–27,1; обменного калия – 354,0–526,3 мг (табл. 1)

Таблица 1. Агрохимическая характеристика почвы опытного участка за годы проведения исследований, 2018–2020 гг. (среднее по вариантам склона)

Table 1. Agrochemical characteristics of the soil of the experimental plot over the years of research, 2018-2020 (average for slope options)

Годы	Варианты склона	Общий азот, мг/кг	P ₂ O ₅ мг/кг	K ₂ O мг/кг	Гумус	pH
2018	Верхняя	21,2	22,3	492,0	6,0	6,9
	Средняя	23,4	22,8	354,0	5,9	6,4
	Нижняя	27,1	26,7	371,0	6,1	6,7
2019	Верхняя	22,4	24,7	511,3	5,2	6,0
	Средняя	23,7	21,5	458,0	5,3	5,8
	Нижняя	26,7	27,1	505,0	5,5	6,1
2020	Верхняя	22,7	24,3	524,0	5,0	5,8
	Средняя	23,2	23,7	524,8	5,6	5,8
	Нижняя	24,8	25,7	526,3	5,8	5,9
В среднем по вариантам склона 2018-2020 гг.	Верхняя	22,1	23,7	509,1	5,5	6,2
	Средняя	23,4	22,6	445,6	5,6	6,0
	Нижняя	26,2	26,5	467,4	5,8	6,2

Агрохимические анализы почвенных образцов проводили в лаборатории химических анализов и биологических исследований Института сельского хозяйства Кабардино-Балкарского научного центра РАН.

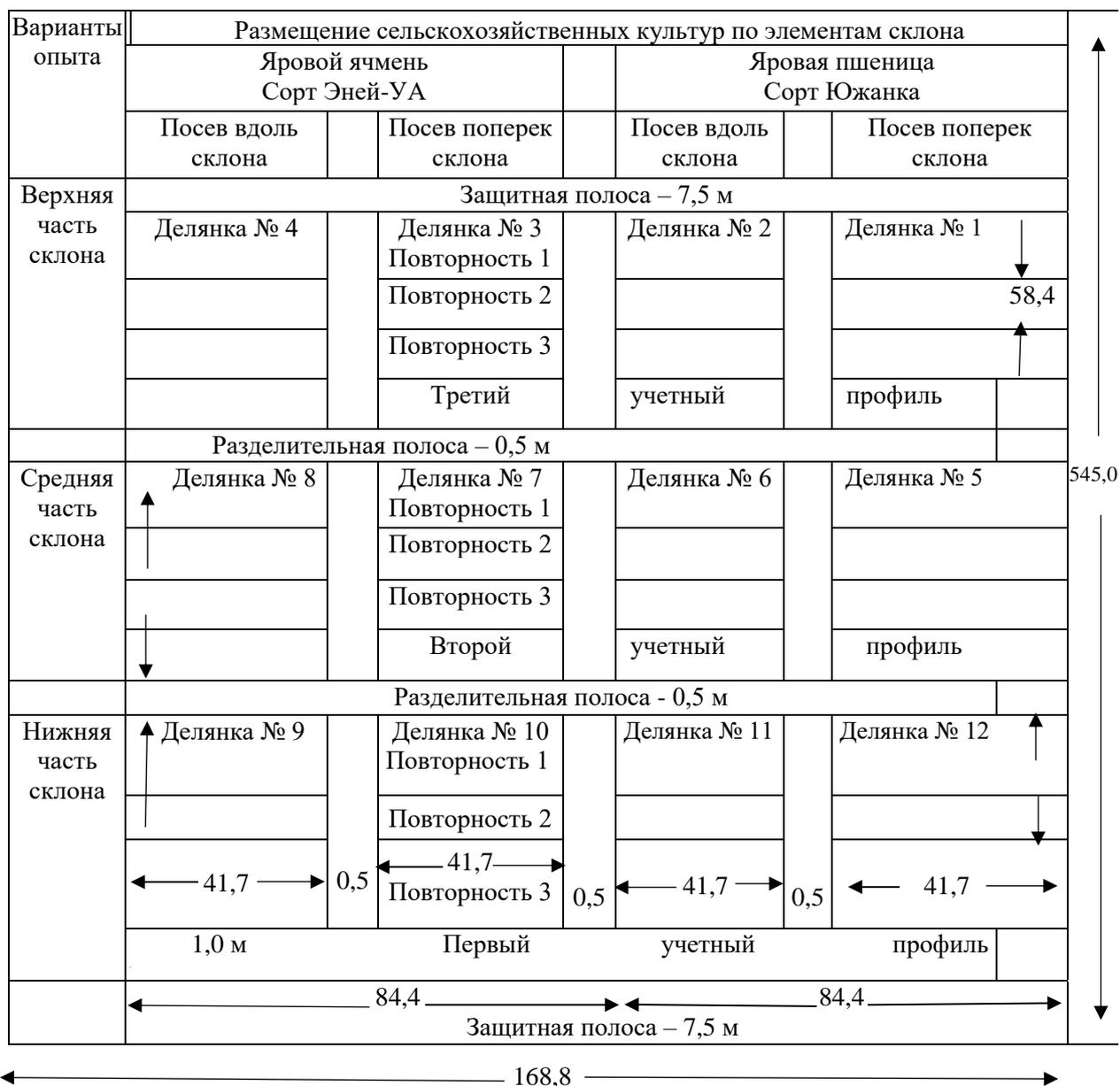
Научно-исследовательская работа проводилась на опытном поле научно-производственного отделения № 3 Института сельского хозяйства КБНЦ РАН, расположенном в Зольском районе КБР, с.п. Белокаменское.

На опытном поле изучалось влияние способов посева вдоль и поперек склона на смыв почвы, урожайность и качество зерна озимой пшеницы сорта Южанка и ярового ячменя сорта Гетьман, размещенных по разным вариантам опытного поля.

Агротехника в опытах общепринятая при возделывании озимых и ранних яровых культур в условиях среднегорной природно-климатической зоны Кабардино-Балкарии.

Опытное поле площадью 9,2 га (под опытом 7,7 га) было разделено на 12 опытных делянок. Площадь делянок – 0,70 га, повторность трехкратная. Посев озимой пшеницы проводили 10 октября, норма высева – 5 млн. всхожих семян на 1 га, ярового ячменя – 28 марта, норма высева – 4,5 млн. всхожих семян на 1 га (схема полевого опыта).

**Схема полевого опыта по теме
«Влияние способов посева на противоэрозионную эффективность, урожайность
и качество зерна колосовых культур на склоновых землях
Кабардино-Балкарской Республики,
с. п. Белокаменское, Зольский район, КБР (2018–2020 гг.)**



Учет смыва почвы по элементам склона проводился сравнительно-географическим методом путем обмера водороин (струйчатых размывов) на специальных учетных профилях, проложенных поперек опытного поля по трем вариантам полевого опыта в верхней, средней и нижней частях склона.

Количество выпавших осадков и их интенсивность учитывались по данным метеопоста «Каменноостское» Зольского района КБР. По размерам водороин были определены объемы смыва почвы по всем учетным профилям.

Уборку озимой пшеницы и ярового ячменя проводили сплошным способом. Урожайность приводили к стандартной 14%-ной влажности и 100%-ной чистоте. Перед уборкой в

соответствии с методикой проведения исследования с каждой делянки были отобраны сноповые образцы для определения числа растений на 1 м², общего числа стеблей, включая колосоносных, вес пробы снопа, вес пробы зерна, отношение веса зерна к весу соломы, вес 1000 семян и биологический урожай.

Сравнение полученных результатов анализа сноповых образцов по разным вариантам склона позволило установить тенденцию изменения проверяемых показателей и биологического урожая по разным элементам склона (верхняя, средняя и нижняя части).

Изучаемые агротехнические приемы оценивали по следующим показателям:

- влияние рекомендуемого способа сева на смыв и размыв почвы;
- прибавка урожая в натуральном и денежном выражении, полученная в результате применения изучаемого приема;
- влияние рекомендуемого приема на качество зерна;
- дополнительные затраты на проведение данного агротехнического приема;
- доход от проведения противозерозионного агроприема из расчета на 1 га вычислялся по разнице между стоимостью дополнительно полученной продукции и дополнительными затратами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Погодные условия, сложившиеся в период вегетации исследуемых культур, отличались от многолетних значений как по температуре воздуха, превышая ее так, и по сумме осадков за месяц (таблица 2).

Таблица 2. Метеорологические условия во время вегетации полевых культур в годы исследований (2018–2020 гг.)

Table 2. Meteorological conditions during the growing season of field crops in the years of research (2018-2020)

Показатель	Год	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август
Температура, °С	2018	4,5	11,3	18,3	22,3	25,4	21,7
	2019	3,6	8,6	16,2	21,9	20,3	21,4
	2020	6,0	7,8	14,5	20,3	23,3	20,4
	в среднем за 3 года	4,7	9,2	16,3	21,5	23,0	21,2
	среднемноголетняя	2,1	10,1	15,3	19,1	21,6	20,7
Осадки, мм	2018	87,8	35,6	155,7	93,8	102,0	73,2
	2019	27,8	59,4	93,6	93,6	139,1	38,6
	2020	13,7	19,5	141,8	74,3	74,4	75,7
	в среднем за 3 года	43,1	38,2	130,4	87,2	105,1	62,5
	среднемноголетняя	20,0	44,0	77,0	104,0	83,0	72,0

Отметим, что выпадающие дожди в мае, июне нередко носили ливневый характер, что вызывало смывы и размывы почвы

Интенсивность ливней в максимуме колеблется от 2,4 до 4,3 мм/мин. Иногда за 10–12 минут выпадает месячная норма осадков, которая вызывает сильный склоновый сток и смыв почвы. На основании анализа метеорологических данных обеспеченности осадками и периодичности их выпадения с 2018-го по 2020 год выделены следующие периоды активного проявления эрозионных процессов от ливневых осадков: самые опасные ливни (май); опасные (июнь); периодически опасные (июль, сентябрь).

Из данных таблицы видно, что в годы проведения исследований температура воздуха и количество выпавших осадков превышали среднемноголетние показатели на 1°С и 11,0 мм.

Однако в наиболее критический период роста и развития озимой пшеницы и ярового ячменя температура воздуха в апреле составила $9,2^{\circ}\text{C}$, а количество осадков – 38,2 мм при среднемноголетних значениях $10,0^{\circ}\text{C}$ и 44,0 мм, что, безусловно, отразилось на формировании урожая объектов исследований. Подобная ситуация сложилась в июле и августе по количеству выпавших осадков – 87,2 и 62,5 мм при среднемноголетних показателях 100,4 и 72 мм.

Наблюдаемые в последние годы климатические изменения, увеличение количества выпадающих осадков, особенно интенсивного характера в определенные периоды вегетации следует рассматривать в соответствии с темой изучаемой научно-исследовательской работы. В этой связи следует более подробно остановиться на количестве, интенсивности и сроках выпадения осадков.

За весь период наблюдений наиболее влагообеспеченным оказался 2018 год – выпало 548,1 мм осадков, в 2019 году – 452,1; в 2020-м – 399 мм при среднемноголетней норме 400 мм. Из общего количества выпавших осадков за период март-август около 60 % приходится на май-июнь.

В 2018 году за май, июнь выпало 8 дождей, слой осадков которых превысил 10 мм, из них 5 слоев от 15 до 20 мм и 4 слоев более 20 мм

В 2019 году за май, июнь выпало 5 дождей, слой осадков которых превысил 10 мм, из них 2 слоя от 15 до 20 мм. В 2020 году за май, июнь выпало 7 дождей слой осадков которых превысил 10 мм, из них 4 слоя от 15 до 20 мм и 2 слоя более 20 мм.

Наблюдения о влиянии интенсивности выпадения осадков на проявление эрозии показали, что осадки слоем до 10 мм не вызывали смыва почвы. Развитие водной эрозии на посевах исследуемых культур имело место при интенсивности дождя слоем свыше 20 мм, однако наиболее значительное проявление эрозии, которое привело к смыву и размыву почвы, наблюдалось в 2018 году. В результате ливневого дождя, прошедшего 8 мая 2018 года слоем 36,7 мм, произошли смыв и размыв почвы по всем вариантам полевого опыта.

На первом учетном профиле посева озимой пшеницы, размещенного в верхней части вдоль склона, образовалось 3 водороины. Площадь их сечения составила $0,0065 \text{ м}^2$, объем смытой почвы – $0,975 \text{ м}^3$, что в пересчете на 1 га составляет $2,6 \text{ м}^3$.

В почвозащитном варианте (посев поперек склона) образовалось 2 водороины. Площадь их сечения составила $0,00265 \text{ м}^2$, объем смытой почвы – $0,382 \text{ м}^3$, что в пересчете на 1 га составляет $1,02 \text{ м}^3$.

На втором учетном профиле посева озимой пшеницы, размещенного в средней части вдоль склона, образовалось 3 водороины. Площадь их сечения составила $0,009 \text{ м}^2$, объем смытой почвы – $1,35 \text{ м}^3$, что в пересчете на 1 га составляет $3,6 \text{ м}^3$. В почвозащитном варианте (посев поперек склона) образовалось 2 водороины. Площадь их сечения составила $0,0027 \text{ м}^2$, объем смытой почвы в 1 га – $1,76 \text{ м}^3$.

На третьем учетном профиле посева озимой пшеницы, размещенного в нижней части вдоль склона, образовалось 4 водороины. Площадь их сечения составила $0,0157 \text{ м}^2$, объем смытой почвы – $2,355 \text{ м}^3$, что в пересчете на 1 га составляет $6,28 \text{ м}^3$. В почвозащитном варианте (посев поперек склона) образовалось 3 водороины. Площадь их сечения составила $0,00605 \text{ м}^2$, объем смытой почвы – $0,935 \text{ м}^3$, что в пересчете на 1 га составляет $2,493 \text{ м}^3$.

В целом по всем трем вариантам полевого опыта при посеве озимой пшеницы вдоль склона средний смыв с 1 га составил $4,16 \text{ м}^3$, в почвозащитном варианте – $1,76 \text{ м}^3$, или ниже, чем при посеве вдоль склона, в 2,36 раза, что подчеркивает высокую противозерозионную эффективность способа посева поперек склона на склоновых землях крутизной от 3 до 6° . Сравнительно невысокие объемы смыва почвы при выпадении ливневого дождя 8 мая

2018 года и слоем 36,7 мм на посевах озимой пшеницы во многом объясняются влиянием растительного покрова на интенсивность эрозии.

Густая растительность замедляет скорость склонового стока и таким образом создает условия для более полного поглощения почвой выпадающих осадков. Она распыляет склоновый сток на множество мельчайших струй, увеличивает площадь соприкосновения стекающей воды с почвой, способствует торможению или полному предотвращению эрозии [13].

Сравнительный анализ объемов смыва почвы по вариантам склона показывает, что наиболее значительные смывы наблюдаются в нижней части опытного поля на расстоянии до 500 м от водораздела. В результате наблюдений смыв почвы в верхней части склона при посеве в почвозащитном варианте составил $1,02 \text{ м}^3$, в нижней – $2,493 \text{ м}^3$, или больше, чем в верхней части, в 2,44 раза. Такая разница в объемах смыва почвы в верхней и нижней частях склона объясняется тем, что при большой длине склона его нижняя часть получает больше поверхностных вод, чем верхняя и средняя части, вследствие этого почвы нижней части эродируются сильнее.

Несколько иные результаты получены при анализе результатов учета смыва и размыва почвы после ливневого дождя, прошедшего 8 мая 2018 года, на посевах ярового ячменя.

На первом учетном профиле посева ярового ячменя, размещенном в верхней части вдоль склона, смыв почвы с 1 га составил $3,6 \text{ м}^3$; в почвозащитном варианте – $1,46 \text{ м}^3$, что ниже, чем при посеве вдоль склона, в 2,46 раза.

На втором учетном профиле, размещенном в средней части склона, посева ярового ячменя вдоль склона смыв почвы с 1 га составил $7,0 \text{ м}^3$; в почвозащитном варианте – $3,4 \text{ м}^3$, что ниже, чем при посеве вдоль склона, в 2,05 раза.

На третьем учетном профиле, размещенном в нижней части склона, посева ярового ячменя вдоль склона смыв почвы с 1 га составил $8,92 \text{ м}^3$; в почвозащитном варианте – $4,188 \text{ м}^3$, или ниже, чем на контроле, в 2,13 раза. В целом по всем вариантам полевого опыта при посеве ярового ячменя вдоль склона средний смыв составил с 1 га $6,50 \text{ м}^3$, в почвозащитном варианте – $3,06 \text{ м}^3$, что ниже, чем при посеве вдоль склона, в 2,12 раза.

Сравнение полученных результатов смыва почвы на посевах озимой пшеницы и ярового ячменя показало, что объемы смыва почвы на посевах озимой пшеницы при посеве вдоль склона ниже, чем на посевах ярового ячменя, в 1,6 раза, в почвозащитном варианте – в 1,7 раза, что подчеркивает большую роль растительного покрова в уменьшении проявления эрозии почв на склоновых землях.

Степень влияния растительного покрова зависит от вида и состояния растительности, чем она лучше развита и больше ее густота, тем значительнее ее почвозащитная и водорегулирующая роль.

Ко времени выпадения ливневых дождей (май, июнь) озимая пшеница обладает более развитой наземной частью и корневой системой, что ведет к уменьшению склонового стока, торможению или полному предотвращению эрозии. Густая растительность не только предупреждает смыв, но и задерживает почву, смытую с вышележащих участков склона.

В Кабардино-Балкарии посева зерновых колосовых культур, размещенных на склоновых землях, занимают более 35,0 тыс. га посевной площади. Для удобства работы тракторов и сельскохозяйственных машин в основном они обрабатываются и засеваются по длинным сторонам полей (вдоль склона). Если перевести полученный результат, объем смытой почвы с 1 га озимой пшеницы ($4,16 \text{ м}^3$) и ярового ячменя ($6,50 \text{ м}^3$) в среднем $5,33 \text{ м}^3$ с 1 га на всю эту площадь, то ежегодные потери почвы за счет воздействия водной эрозии составляют более $186,5 \text{ тыс. м}^3$.

В соответствии с методикой проведения исследования учеты и наблюдения проводили в основные фенологические фазы роста и развития растений озимой пшеницы сорта Южанка и ярового ячменя сорта Гетьман, размещенных на разных элементах склона при посеве вдоль и поперек опытного поля. В период полной спелости провели определение структуры и учет урожая по результатам лабораторного анализа сноповых образцов озимой пшеницы и ярового ячменя в соответствии с рекомендациями ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт земледелия и защиты почв от эрозии». В результате проведенных наблюдений, лабораторного анализа сноповых образцов озимой пшеницы и ярового ячменя в среднем за годы исследований выявлено, что изучаемый способ посева колосовых культур поперек склона оказывает значительное влияние на рост и развитие растений, а также продуктивность полевых культур в склоновом земледелии.

Из данных биометрического анализа показателей, представленных в таблице 3, видно, что при посеве озимой пшеницы поперек склона (делянки 5, 6, 7) общее число стеблей, число колосоносных стеблей, высота растений, вес пробы снопа и зерна сложились значительно выше, чем при посеве вдоль склона (делянки 1, 2, 3) на 14,3 × 21 шт., 4,5 см, 58 г. Соответственно средняя урожайность озимой пшеницы по всем вариантам опыта при посеве вдоль склона составила 43,2 ц/га, в почвозащитном варианте – 45,5 ц/га, или выше, чем при посеве вдоль склона, на 2,3 ц/га.

Таблица 3. Влияние различных способов посева по вариантам склона на формирование урожая озимой пшеницы сорта Южанка по анализам сноповых образцов (в среднем за 2018–2020 гг.)

Table 3. The influence of different sowing methods according to slope options on the formation of the harvest of winter wheat variety Yuzhanka according to the analysis of sheaf samples (average for 2018-2020)

№ п/п	Вариант опыта	Число растений на 1 м ²	Общее число стеблей на 1 м ²	Число колосоносных стеблей	Общая кустистость	Продуктивная кустистость	Высота растений, м ²	Вес пробы снопа, г	Вес пробы зерен, г	Отношение веса зерна к весу соломы, %	Вес 1000 зерен, г	Биологический урожай, ц/га на 1 м ²
Посев вдоль склона (контроль)												
1	Верхняя часть склона	339,0	621,0	513,0	1,8	1,51	68,0	1104,0	416,8	60,0	43,1	41,7
2	Средняя часть склона	317,0	643,0	521,0	1,85	1,5	70,5	1143,5	427,0	59,6	38,7	42,6
3	Нижняя часть склона	351,0	659,0	567,0	1,9	1,6	84,5	1167,0	454,0	63,6	45,3	45,4
4	В среднем	345,0	641,0	533,0	1,85	1,56	74,3	1138,1	432,6	61,0	42,3	43,2
Почвозащитный посев поперек склона												
5	Верхняя часть склона	358,0	626,0	532,0	1,75	1,5	71,0	1127,0	435,5	63,0	43,7	43,5
6	Средняя часть склона	374,0	662,0	549,0	1,76	1,47	73,0	1188,0	449,5	61,0	42,8	44,9
7	Нижняя часть склона	383,0	678,0	581,0	1,8	1,52	92,5	1274,0	480,5	60,5	45,7	48,0
8	В среднем	371,6	655,3	554,0	1,77	1,5	78,8	1196,0	455,0	61,5	44,0	45,5
НСР ₀₅												1,23

Примечание: п/п 1, 2, 3 – варианты опыта при посеве вдоль склона (контроль)
 п/п 5, 6, 7 – варианты опыта при посеве поперек склона
 п/п (4/8) – разница между средними показателями при посеве вдоль (контроль) и поперек склона

Аналогичные результаты получены и при анализе сноповых образцов ярового ячменя сорта Гетьман (таблица 4), что подчеркивает положительное влияние изучаемого агротехнического приема на урожайность яровых колосовых культур на склоновых землях крутизной от 3 до 6°.

Таблица 4. Влияние различных способов посева по вариантам склона на формирование урожая ярового ячменя сорта Гетьман по анализам сноповых образцов (в среднем за 2018–2020 гг.)

Table 4. The influence of different sowing methods according to slope options on the formation of the spring barley crop of the Getman variety according to the analysis of sheaf samples (average for 2018-2020)

№ п/п	Вариант опыта	Число растений на 1 м ²	Общее число стеблей на 1 м ²	Число колосонных стеблей	Общая кусти- стость	Продук- тивная кусти- стость	Высота расте- ний, м ²	Вес пробы снопа, г	Вес пробы зерен, г	Отноше- ние веса зерна к весу соломы, %	Вес 1000 зерен, г	Биологи- ческий урожай, ц/га на 1 м ²
Посев вдоль склона (контроль)												
1	Верхняя часть склона	288,0	525,0	477,0	1,8	1,6	74,0	713,0	278,0	63,0	40,9	27,8
2	Средняя часть склона	327,0	539,0	497,0	1,6	1,5	77,0	794,0	291,0	58,0	44,1	29,1
3	Нижняя часть склона	349,0	561,0	517,0	1,6	1,5	80,0	899,0	341,0	61,0	45,7	34,1
4	В сред- нем	321,0	541,0	497,0	1,66	1,53	77,0	202,0	303,0	60,6	43,5	30,3
Почвозащитный посев поперек склона												
5	Верхняя часть склона	322,0	527,0	491,0	1,6	1,5	79,0	790,0	307,0	62,0	44,3	30,7
6	Средняя часть склона	339,0	561,0	523,0	1,6	1,5	85,0	861,0	326,0	62,0	43,6	32,6
7	Нижняя часть склона	353,0	617,0	548,0	1,7	1,5	87,0	1027,0	377,0	58,0	48,1	37,7
8	В сред- нем	338,0	568,0	521,0	1,63	1,50	83,6	892,0	337,0	60,6	45,3	34,0
НСР ₀₅												1,15

Примечание: п/п 1, 2, 3 – варианты опыта при посеве вдоль склона (контроль)

п/п 5, 6, 7 – варианты опыта при посеве поперек склона

п/п (4/8) – разница между средними показателями при посеве вдоль (контроль) и поперек склона

Статистическая обработка опытных данных проведена на основе дисперсионного анализа. Анализ качественных показателей зерна озимой пшеницы сорта Южанка в зависимости от способов посева (вдоль, поперек) по разным вариантам склона показал, что при посеве озимой пшеницы поперек склона содержание сырого протеина при размещении в верхней части склона составило 22,4 %; при посеве вдоль склона – 19,7 %, или выше, чем на контроле, на 2,7 %; в нижней части – 27,1 и 22,5%, или выше, чем на контроле, на 4,6% (таблица 5).

В среднем по всем вариантам опыта содержание протеина составило при посеве озимой пшеницы поперек склона 24,6%; при посеве вдоль склона – 21,2, или больше, чем на контроле, на 3,4%.

Таблица 5. Показатели качества зерна озимой пшеницы сорта Южанка в зависимости от способов посева (вдоль и поперек) по разным элементам склона

Table 5. Grain quality indicators of winter wheat variety Yuzhanka depending on sowing methods (along and across) by different elements of the slope

№ п/п	Варианты опыта	Влага, %	Сырой протеин, %	Натура, г/л
Верхняя часть склона				
1	Посев вдоль склона (контроль)	10,7	19,7	760,0
2	Посев поперек склона (почвозащитный вариант)	11,4	22,4	780,0
	Разница к контролю (+, -)	0,7	2,7	20,0
Средняя часть склона				
3	Посев вдоль склона (контроль)	11,3	21,3	767,0
4	Посев поперек склона (почвозащитный вариант)	12,5	24,2	719,0
	Разница к контролю (+, -)	1,2	2,9	22,0
Нижняя часть склона				
5	Посев вдоль склона (контроль)	12,1	22,5	790,0
6	Посев поперек склона (почвозащитный вариант)	13,5	27,1	810,0
	Разница к контролю (+, -)	1,4	4,6	20,0

Подобные результаты были получены и при лабораторном анализе зерна ярового ячменя на содержание протеина по разным вариантам опыта (таблица 6).

Таблица 6. Показатели качества зерна ярового ячменя сорта Гетьман в зависимости от способов посева (вдоль и поперек) по разным элементам склона

Table 6. Grain quality indicators of spring barley variety Getman depending on the sowing methods (along and across) for different elements of the slope

№ п/п	Варианты опыта	Влага, %	Сырой протеин, %	Натура, г/л
Верхняя часть склона				
1	Посев вдоль склона (контроль)	9,3	12,7	520,0
2	Посев поперек склона (почвозащитный вариант)	10,0	17,8	530,0
	Разница к контролю (+, -)	0,7	5,1	10,0
Средняя часть склона				
3	Посев вдоль склона (контроль)	9,7	15,1	547,0
4	Посев поперек склона (почвозащитный вариант)	9,9	16,4	628,0
	Разница к контролю (+, -)	0,2	1,3	81,0
Нижняя часть склона				
5	Посев вдоль склона (контроль)	10,4	15,2	648,0
6	Посев поперек склона (почвозащитный вариант)	11,6	15,7	770,0
	Разница к контролю (+, -)	1,2	0,5	122,0

Установленные в результате исследований изменения урожайности и качества зерна при размещении посевов поперек склона связаны с различными условиями формирования продукционного процесса в период вегетации за счет лучшей обеспеченности влагой и растворенными в ней питательными веществами по различным вариантам полевого опыта.

Как известно, экономическая эффективность применения того или иного агротехнического приема оценивается изменением количества и качества основной и побочной продукции и дохода, получаемого в результате осуществления противоэрозионного мероприятия. При этом необходимо учитывать и объемы предотвращенного смыва почвы, а также и дополнительные прямые затраты средств на выполнение противоэрозионного приема.

Однако в большинстве случаев при разработке схем противоэрозионных мероприятий оценку экономической эффективности проводят по доходу, получаемому от дополнительной продукции в результате роста урожайности.

Оценивая итоги проведения научно-исследовательской работы, следует отметить, что использование рекомендуемого почвозащитного приема на склоновых землях крутизной от 3 до 6° дает существенный экономический эффект, что подтверждается данными таблиц 7, 8.

Таблица 7. Экономическая эффективность агротехнических противоэрозионных мероприятий на посевах озимой пшеницы сорта Южанка (в среднем за 2018–2020 гг.)

Table 7. Economic efficiency of agrotechnical anti-erosion measures on crops of winter wheat variety Yuzhanka (average for 2018-2020)

Вариант опыта	Урожайность, ц/га						Рыночная цена, руб./ц				Стоимость прибавки урожая, руб./га		Всего, руб.
	посев вдоль склона (контроль)		посев поперек склона		± к контролю		посев вдоль склона (контроль)		посев поперек склона		основная продукция	побочная продукция	
	основная продукция	побочная продукция	основная продукция	побочная продукция	основная продукция	побочная продукция	основная продукция	побочная продукция	основная продукция	побочная продукция			
Верхняя часть склона	41,7	65,7	43,5	69,1	1,8	3,4	1200	50	1200	50	2160	170	2330,0
Средняя часть склона	42,6	71,6	44,9	73,8	2,3	2,2	1200	50	1200	50	2760	110	2870,0
Нижняя часть склона	45,4	71,3	48,0	79,3	2,6	8,0	1280	50	1200	50	3120	400	3520,0
Итого											8040	680	8720,0
Дополнительные затраты на противоэрозионный прием													1460,0
Чистый доход с 1 га – 2420 руб.													

В результате анализа данных таблиц выявлено следующее:

– в верхней части склона урожайность озимой пшеницы при посеве поперек склона превышала в среднем урожайность на контроле на 1,8 ц/га по основной продукции и на 3,4 ц/га по побочной, в средней части – на 2,3 ц/га и 2,2 ц/га соответственно и в нижней части – на 2,6 ц/га по основной и 8,0 ц/га по побочной продукции. В целом стоимость прибавки урожая составила по основной продукции – 8040,0 и 680,0 руб., по побочной – всего 8720 руб. С учетом дополнительных затрат на проведение противоэрозионного приема (1460,0 руб.) чистый доход в пересчете на 1 га составил 2420,0 руб.

Результаты оценки экономической эффективности применения рекомендуемого противоэрозионного приема на посевах ярового ячменя представлены в таблице 8.

Таблица 8. Экономическая эффективность агротехнических противоэрозионных мероприятий на посевах ярового ячменя сорта Гетьман (в среднем за 2018–2020 гг.)

Table 8. Economic efficiency of agrotechnical anti-erosion measures on crops of spring barley variety Getman (average for 2018-2020)

Варианты опыта	Урожайность, ц/га						Рыночная цена, руб./ц				Стоимость прибавки урожая, руб./га		Всего, руб.
	посев вдоль склона (контроль)		посев поперек склона		± к контролю		посев вдоль склона (контроль)		посев поперек склона		основная продукция	побочная продукция	
	основная продукция	побочная продукция	основная продукция	побочная продукция	основная продукция	побочная продукция	основная продукция	побочная продукция	основная продукция	побочная продукция			
Верхняя часть склона	27,8	43,5	30,7	48,3	2,9	4,8	1100	60	1100	60	3190	288	3478,0
Средняя часть склона	29,1	50,3	32,6	53,5	2,5	3,5	1100	60	1100	60	3850	192	4042,0
Нижняя часть склона	34,1	55,8	37,7	60,5	3,6	4,5	1100	60	1100	60	3960	270	4230,0
Итого											11000,0	750	11750,0
Дополнительные затраты на противоэрозионный прием													2150,0
Чистый доход с 1 га – 3200,0 руб.													

В среднем по всем вариантам полевого опыта урожайность ярового ячменя при посеве вдоль склона составила 30,3 ц/га, в почвозащитном варианте (посев поперек склона) – 33,3 ц/га, или выше, чем при посеве вдоль склона, на 3,0 т/га.

По побочной продукции средняя урожайность по всем вариантам исследования при посеве поперек склона превысила урожайность на контроле на 5,4 ц/га.

В целом стоимость прибавки урожая за период исследований в среднем составила: по основной продукции – 11000,0 руб., побочной – 750 руб., всего – 11750 руб. С учетом дополнительных затрат на проведение противоэрозионного приема (2150) чистый доход с 1 га составил 3200,0 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты научно-исследовательской работы, проведенной в 2018–2020 годах, показали, что применение способа посева поперек склона на горных черноземах северо-западной экспозиции крутизной 3,6° позволяет снизить объем смыва почвы с 1 га на посеве озимой пшеницы в 2,36 раза, ярового ячменя – в 2,5 раза. Определено, что смывы и размывы почвы наблюдаются при выпадении осадков слоем выше 20 мм в течение 40 минут.

Увеличение урожайности озимой пшеницы за счет применения изучаемого почвозащитного агроприема по всем вариантам опыта составило по основной продукции – 2,3 ц/га, побочной – 4,5; ярового ячменя – 3,3 ц/га по основной и 5,4 ц/га по побочной продукции.

Стоимость прибавки урожая озимой пшеницы при посеве поперек склона составила по основной продукции – 8040,0 руб., побочной – 680,0 руб., всего – 8720,0 руб.; ярового ячменя по основной продукции – 1100,0, побочной – 750,0 руб., всего – 11750,0 руб.

Сравнительный анализ экономической эффективности способов посева колосовых культур показал, что при размещении озимой пшеницы поперек склона чистый доход с площади 1 га составил 2420,0 руб., ярового ячменя – 3200,0 руб.

Анализ качественных показателей зерна озимой пшеницы сорта Южанка показал, что при посеве поперек склона содержание протеина в среднем по всем вариантам склона составило 24,6%, при посеве вдоль склона – 21,2 %, или больше, чем на контроле, на 3,4 %.

Аналогичные результаты были получены и при анализе качественных показателей ярового ячменя сорта Эней-УА.

В среднем по всем вариантам опыта содержание клейковины при посеве поперек склона составило 16,6 %, на контроле – 14,3 %, или больше, чем при посеве вдоль склона, на 2,3 %.

В результате проведенных исследований впервые для условий Кабардино-Балкарии в стационарных полевых опытах определены величины смыва почвы при возделывании колосовых культур на склоновых землях.

Использование способа посева сельскохозяйственных культур поперек склона является важнейшим простым и доступным агроприемом на склоновых землях крутизной от 3 до 6°.

Результаты трехлетних научных исследований (2018–2020 гг.) по защите почв от эрозии следует включить в перечень обязательных агротехнологических приемов при возделывании сельскохозяйственных культур на эрозионно-опасных землях Кабардино-Балкарии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рамазанов Б. Р.* Противозерозионные меры борьбы на склоновых землях и предгорных районах, процессы деградации // *Scientific Journal*. 2021. Т. 2. С. 410–419.
2. *Молчанов Э. Н.* Почвенный покров Кабардино-Балкарской АССР. Москва, 1990. 22 с.
3. *Бадмаева С. Э., Бадмаева Ю. В., Лидяева Н. Е.* Эрозионные процессы на черноземах лесостепной зоны Красноярского края // *Вестник КрасГАУ*. 2019. № 4. С. 62–66.
4. *Драгавцева И. А., Савин И. Ю., Эркенев Т. Х., Бербеков В. Н., Ахматова З. П., Карданов А. Р.* Ресурсный потенциал земель Кабардино-Балкарии для возделывания плодовых культур. Краснодар, 2011. 127 с.
5. *Скорыходов В. Ю., Максюттов Н. А., Зоров А. А., Митрофанов Д. В., Кафтан Ю. В., Зенкова Н. А.* Сохранение плодородия почвы от эрозии в степной зоне Урала // *Плодородие*. 2021. № 6(123). С. 22–25. DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.06.
6. *Тарчоков Х. Ш., Чочаев М. М., Матаева О. Х., Шогенов А. Х., Кушхабиев А. З.* Влияние способов посева сельскохозяйственных культур на интенсивность эрозионных процессов и урожайность сельскохозяйственных культур на склоновых землях Кабардино-Балкарской Республики // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2020. № 5(97). С. 5–19. DOI: 10.35330/1991-6639-2020-5-97-5-19.
7. *Gusarov A. V., Sharifullin A. G., Golosov V. N.* Contemporary trend in erosion of arable ordinary chernozems (haplic chernozems (pachic)) within the volga upland (Saratov oblast, Russia) // *Eurasian soil science*. 2018. Vol. 51. No. 18. Pp. 1514–1532. DOI: 10.1134/S1064229318120049.
8. *Сохроков А. Х.* Агроэкологические основы защиты земельных и водных ресурсов АПК. Нальчик, 1998. 197 с.

9. Зотов А. А., Коломейченко В. В., Семенов Н. А. Склоновые земли России. Москва, Аверс Пресс, 2002. С. 153–155.
10. Сумрач Г. П. Водная эрозия и борьба с ней. Ленинград, 1976. 254 с.
11. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва, 1985. 351 с.
12. Соболев С. С. и др. Методические рекомендации по учету поверхностного стока и смыва почвы при изучении водной эрозии. Ленинград: Гидрометеоздат, 1975. С. 87–88.
13. Заславский М. Н. Эрозия почв. Москва, 1979. 245 с.

Информация об авторах

Тарчоков Хасан Шамсадинович, канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр., зав. лабораторией технологии возделывания полевых культур, Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360004, Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224;

kbniish2007@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6187-7354>

Чочаев Магомед Махмудович, ст. науч. сотр. лаборатории технологии возделывания полевых культур, Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360004, Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224;

kbniish2007@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2442-6762>

Сарбашева Асият Идрисовна, ст. науч. сотр. лаборатории агрохимии и биологических исследований, Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360004, Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224;

sarbashasi59@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4708-1293>

Матаева Оксана Хасановна, мл. науч. сотр. лаборатории технологии возделывания полевых культур, Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360004, Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224;

o-mataeva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3590-5734>

Шогенов Анзор Хасанович, науч. сотр. лаборатории технологии возделывания полевых культур, Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360004, Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224;

a.vonegosh@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1184-5397>

REFERENCES

1. Ramazonov B.R. Anti-erosion control measures on sloping lands and foothill areas, desertification processes. *Scientific Journal*. 2021. Vol. 2, No. 5. Pp. 410–419. DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00905.
2. Molchanov E.N. *Pochvennyj pokrov Kabardino-Balkarskoj ASSR* [Soil cover of the Kabardino-Balkarian Autonomous Soviet Socialist Republic]. Moscow, 1990. 22 p. (In Russian)
3. Badmaeva S.E., Badmaeva Yu.V., Lidyayeva N.E. Erosion processes on the chernozems of the forest-steppe zone of the Krasnoyarsk Territory. *Vestnik KrasGAU*. 2019. No. 4. Pp. 62–66. (In Russian)
4. Dragavtseva I.A., Savin I.Yu., Erkenov T.Kh., Berbekov V.N., Akhmatova Z.P., Kardanov A.R. *Resursnyj potencial zemel' Kabardino-Balkarii dlya vozdelevaniya plodovyh kul'tur* [The resource potential of the lands of Kabardino-Balkaria for the cultivation of fruit crops]. Krasnodar, 2011. 127 p. (In Russian)
5. Skorokhodov V.Yu., Maksyutov N.A., Zorov A.A., Mitrofanov D.V., Kaftan Yu.V., Zenkova N.A. Preservation of soil fertility from erosion in the steppe zone of the Urals. *Fertility*. 2021. No. 6(123). Pp. 22–25. DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.06. (In Russian)

6. Tarchokov Kh.Sh., Chochev M.M., Mataeva O.Kh., Shogenov A.Kh., Kushkhabiev A.Z. Influence of methods of sowing agricultural crops on the intensity of erosion processes and productivity of agricultural crops on the slope lands of the Kabardino-Balkarian Republic. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. No. 5. Pp. 5–19. DOI: 10.35330/1991-6639-2020-5-97-5-19. (In Russian)
7. Gusarov A.V., Sharifullin A.G., Golosov V.N. Contemporary trend in erosion of arable ordinary chernozems (haplic chernozems (pachic)) within the Volga upland (Saratov oblast, Russia). *Eurasian soil science*. 2018. Vol. 51. No. 18. Pp. 1514–1532. DOI: 10.1134/S1064229318120049.
8. Sokhrokov A.Kh. *Agroekologicheskie osnovy zashchity zemel'nyh i vodnyh resursov APK* [Agro-ecological bases for the protection of land and water resources of the agro-industrial complex]. Nalchik, 1998. 197 p. (In Russian)
9. Zotov A.A., Kolomeichenko V.V., Semenov N.A. *Sklonovye zemli Rossii* [Sklonovye zemli Rossii]. Slope lands of Russia Moscow: Avers Press, 2002. Pp. 153–155. (in Russian)
10. Sumrach G.P. *Vodnaya eroziya i bor'ba s nej* [Water erosion and its control]. Leningrad, 1976. 254 p. (In Russian)
11. Dosphekov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Methods of field experience]. Moscow, 1985. 415 p. (In Russian)
12. Sobolev S.S. *Metodicheskiye rekomendatsii po uchetu poverkhnostnogo stoka i smyva pochvy pri izuchenii vodnoy erozii* [Methodological recommendations for accounting for surface runoff and soil flushing in the study of water erosion]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1975. Pp. 87–88 (In Russian).
13. Zaslavsky M.N. *Eroziya pochv* [Soil erosion]. Moscow, 1979. 245 p. (In Russian)

Information about the authors

Tarchokov Khasan Shamsadinovich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory of field crops cultivation technology, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360004, Russia, Nalchik, 224 Kirov street;

kbniish2007@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6187-7354>

Chochev Magomed Mahmudovich, Senior Researcher, Laboratory of field crops cultivation technology, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360004, Russia, Nalchik, 224 Kirov street;

kbniish2007@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2442-6762>

Sarbasheva Asiyat Idrisovna, Senior Researcher, Laboratory of agrochemistry and biological research, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360004, Russia, Nalchik, 224 Kirov street;

sarbashasi59@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4708-1293>

Mataeva Oksana Khasanovna, Junior Researcher, Laboratory of field crops cultivation technology, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360004, Russia, Nalchik, 224 Kirov street;

o-mataeva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3590-5734>

Shogenov Anzor Khasanovich, Researcher, Laboratory of field crops cultivation technology, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360004, Russia, Nalchik, 224 Kirov street;

a.vonegosh@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1184-5397>

**Оценка новых перспективных гибридов кукурузы
в селекционных питомниках при орошении в степной зоне
Кабардино-Балкарии**

Б. Р. Шомахов, Ф. Х. Бжинаев, А. Х. Гяургиев, О. Х. Матаева

Институт сельского хозяйства –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН
360004, Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224

Аннотация. В статье приведены результаты испытаний новых перспективных гибридов кукурузы собственной селекции в степной зоне КБР в условиях дефицита влаги и повышенного температурного режима. В результате испытания новых гибридных комбинаций в питомнике конкурсного сортоиспытания в 2020–2021 гг. выделены три перспективных гибрида кукурузы КБ 382 (ФАО 300), КБ 440 (ФАО 400) и КБ 471 (ФАО 450), достоверно превышающие соответствующий стандарт на 13,7–33,1 %. Эти гибриды подготавливаются для передачи на госсортоиспытание. Гибриды КБ 191, КБ 192, КБ 420 и КБ 441, показавшие высокую урожайность в отдельные годы, следует подвергнуть широкому экологическому сортоиспытанию в различных зонах Российской Федерации. При закладке и выращивании селекционных питомников необходимо учитывать почвенно-климатические особенности зоны проведения исследований: в степной зоне КБР (зоне недостаточного увлажнения) необходимо проведение поливов в критические фазы роста и развития кукурузного растения. Применение биологических и химических методов борьбы с хлопковой совкой позволило снизить потери урожая и получить объективные данные испытания новых экспериментальных гибридов.

Ключевые слова: кукуруза, гибрид, гибридная комбинация, селекционный питомник, контрольный питомник, питомник предварительного (малого) сортоиспытания, конкурсное сортоиспытание, урожайность, уборочная влажность зерна, селекционный индекс

Поступила 29.09.2022, одобрена после рецензирования 12.10.2022, принята к публикации 14.10.2022

Для цитирования. Шомахов Б. Р., Бжинаев Ф. Х., Гяургиев А. Х., Матаева О. Х. Оценка новых перспективных гибридов кукурузы в селекционных питомниках при орошении в степной зоне Кабардино-Балкарии // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 149–157. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-149-157

Original article

**Evaluation of new promising corn hybrids
in breeding nurseries under irrigation in the steppe zone
of Kabardino-Balkaria**

B.R. Shomahov, F.Kh. Bzhinaev, A.Kh. Gyaurgiev, O.Kh. Mataeva

Institute of Agriculture –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360004, Russia, Nalchik, 224 Kirov street

Annotation. The article presents the results of testing of new promising hybrids of corn of our own selection in the steppe zone of the KBR in conditions of moisture deficiency and elevated temperature regime. As a result of testing new hybrid combinations in a number of consecutive nurseries, three promising corn hybrids KB 382 (FAO 300), KB 440 (FAO 400) and KB 471 (FAO 450) were selected,

significantly exceeding the corresponding standard by 13.7–33.1%. These hybrids are being prepared for transfer to the state export testing. Hybrids KB 191, KB 192, KB 420 and KB 441, which have shown high yields in some years, should be subjected to extensive ecological variety testing in various zones of the Russian Federation. When laying and growing breeding nurseries, it is necessary to take into account the soil and climatic features of the research area: in the steppe zone of the KBR (zone of insufficient moisture), watering is necessary during the critical phases of growth and development of the corn plant. The use of biological and chemical methods of combating cotton scoops allowed to reduce crop losses and to obtain objective test data for new experimental hybrids.

Key words: corn, hybrid, hybrid combination, breeding nursery, control nursery, nursery of preliminary (small) variety testing, competitive variety testing, yield, harvesting grain moisture, breeding index

Submitted 29.09.2022,

approved after reviewing 12.10.2022,

accepted for publication 14.10.2022

For citation. Shomakhov B.R., Bzhinaev F.Kh., Gyaurgiev A.Kh., Mataeva O.Kh. Evaluation of new promising corn hybrids in breeding nurseries under irrigation in the steppe zone of Kabardino-Balkaria. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 5 (109). Pp. 149–157. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-149-157

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время приоритетной задачей сельскохозяйственной науки является обеспечение продовольственной безопасности страны. По данным мировых исследований продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), критерием безопасности является собственное производство зерна на уровне не менее 20 % от потребляемого [1].

Обеспечение валовых сборов на таком уровне невозможно без повышения урожайности и валового сбора зерна кукурузы [2, 3]. Кукуруза является одним из лидеров по универсальности использования из всех зерновых культур: на корм скоту используются зерно, силос, зеленая масса и сухие стебли кукурузного растения [4].

В Российской Федерации в настоящая время действует «Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации», принятая указом Президента РФ 21.01.2020 г., которой предусмотрено обеспечение посева семенами основных сельскохозяйственных культур отечественной селекции не менее 75 % площадей¹. В соответствии с разработанной Национальной ассоциацией производителей семян кукурузы и подсолнечника Стратегией развития экспорта семян кукурузы и подсолнечника предусмотрено расширение посевных площадей до 6 млн га и производство зерна товарной кукурузы до 25 млн тонн. Для обеспечения посева такой площади необходимо производство около 120 тыс. тонн семян кукурузы [5].

Обеспечение агропромышленного комплекса РФ семенами собственной селекции невозможно без научно обоснованной системы семеноводства и создания новых более высокоурожайных, адаптированных к условиям различных регионов России.

В связи с этим основным направлением научно-исследовательской работы Института сельского хозяйства Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук (КБНЦ РАН) в настоящее время обозначено создание и внедрение в агропромышленное производство высокоурожайных гибридов кукурузы зернового и силосного направления, устойчивых к полеганию, вредителям и болезням, отвечающих требованиям современных технологий возделывания, и организация их элитного и промышленного семеноводства.

В Институте сельского хозяйства КБНЦ РАН селекция кукурузы ведется от выведения самоопыленных линий до создания и внедрения в производство гибридов кукурузы [6]. Научно-исследовательская работа по селекции кукурузы в институте проводится в предгорной и степной зонах КБР.

¹ «Доктрина продовольственной безопасности «Российской Федерации», указ Президента Российской Федерации от 21 января 2020 года № 20.

Особенность агротехники в селекционных питомниках заключается прежде всего в правильном выборе поля. Селекционные питомники следует располагать после лучших предшественников (озимых, зернобобовых, овощебахчевых культур) [7]. Кроме того, рекомендуется посев сидеральных культур после этих предшественников [8]. Соблюдение севооборота позволяет снизить потенциальную засоренность и фитосанитарную обстановку в 3–5 раз [9].

В настоящее время засоренность полей не позволяет обойтись при борьбе с сорными растениями только агротехническими приемами. Обязательным условием сохранения урожая является использование химических средств защиты растений (гербицидов). Известно, что кукурузу можно возделывать как монокультуру порядка 3–4 лет подряд и при этом урожайность ее не снижается. Однако селекционные питомники запрещается высевать после кукурузы.

Выбор гербицидов зависит от видового состава сорной растительности. Так, при наличии многолетних сорняков до посева желательнее применять гербицид сплошного действия (глифосат) в дозе 1,5–4,0 л/га.

Кроме того, необходимо учитывать, что самоопыленные линии могут страдать от применения гербицидов.

Почву под селекционный питомник необходимо готовить очень тщательно: хорошо ее разрыхлить и выровнять, чтобы обеспечить равномерную глубину заделки семян и создать благоприятные условия для их прорастания, а также для равномерного распределения поливной воды во время вегетационных или влагозарядковых поливов.

Посев кукурузы в селекционных питомниках необходимо проводить в сжатые сроки, чтобы всходы были наиболее дружные.

Семена кукурузы начинают прорастать при температуре почвы 7–9 °С, однако к ее посеву приступают, когда почва на глубине 10 см прогреется на 12–15 °С. В степной зоне КБР срок посева чаще всего третья декада апреля – первая декада мая. Наблюдения показывают, что при раннем сроке посева, когда почва на глубине заделки семян недостаточно прогрелась, появление всходов затягивается на 20–30 дней, и всходы бывают сильно изреженными. По данным ученых Института сельского хозяйства КБНЦ РАН, полные всходы кукурузы отмечены при среднесуточной температуре почвы на глубине 10 см: 8,2–9,3 °С – на 26–38 день; при 12,8–16,0 °С – на 14–22 день; при 16,0–18,0 °С – на 12–13 день; при 18,0–22,0 °С – на 8–10 день после посева [10].

Как ранние, так и поздние сроки посева приводят к нежелательным результатам. При раннем посеве период до появления всходов растягивается на 3–4 недели, всходы бывают недружными, изреженными; при позднем – верхний слой часто иссушен, что влияет на дружность появления всходов.

Для кукурузы лучшими почвами являются богатые азотом черноземы, темно-каштановые, темно-серые, дерново-карбонатные и другие хорошо окультуренные почвы, где соблюдено оптимальное соотношение элементов питания, то есть рН находится в соотношении от 5,6 до 7,5. Для кукурузы самыми важными по влагообеспеченности являются 30 дней, в течение которых необходимо 100–200 мм осадков: за 10 дней до выметывания метелки; 20 дней после опыления початков. Это самые критические периоды в развитии кукурузы, так как засуха может привести к увяданию растения, либо появлению череззерницы, что в итоге негативно сказывается на урожайности. Поэтому в условиях неустойчивого увлажнения степной зоны Кабардино-Балкарии, где среднегодовое количество осадков составляет всего 400 мм за вегетацию, селекционные питомники необходимо поливать 1–3 раза нормой 600–800 м³/га. При этом необходимо, чтобы влажность почвы в слое 0–70 см в самые критические моменты не опускалась ниже 75% НВ.

Доза внесения минеральных удобрений на орошаемых и влагообеспеченных почвах в селекционных питомниках для раннеспелых и среднеспелых гибридов кукурузы должна быть: азота – 30–40, фосфора – 30–40 и калия – 40–60 кг/га д.в., а для среднепоздних и

позднеспелых гибридов: азота – 90–120, фосфора – 90–120 и калия – 40–60 кг/га действующего вещества, которые позволяют получить здоровые гибридные семена, обеспечивают значительную прибавку (до 5–6 ц/га) урожая и увеличивают эффект гетерозиса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в условиях степной зоны Кабардино-Балкарской Республики в НПУ № 2 Института сельского хозяйства КБНЦ РАН.

Почвы в степной зоне (недостаточного увлажнения) представлены обыкновенными карбонатными черноземами. Содержание в почве гумуса – 3–3,5 %, подвижного фосфора – колеблется в пределах 15,6–28,7 мг/кг, доступного калия – 200–300 мг/кг (по Мачигину). Реакция почвы нейтральная (рН в пределах 6,8–7,2).

Испытание гибридов кукурузы в питомниках проводилось согласно общепринятым методическим указаниям [11].

В годы проведения исследований ежегодно на участок было внесено по 300 кг/га сложного удобрения (аммофоска 16:16:16) и проведена прикорневая подкормка аммиачной селитрой из расчета 100 кг/га, трехкратный полив (550–600 м³/га). Предшественник – озимая пшеница. Перед посевом почва обработана гербицидом «Гезагард» 3 л/га. В фазе 4–6 листьев посев был обработан гербицидом «Элюмис» в дозе 1,3 л/га в смеси с листовой подкормкой Гуми Богатый – 1 л/га и цинком – 0,5 л/га.

Таблица 1. Метеорологические наблюдения за 2020–2021 гг.

Table 1. Meteorological observations for 2020-2021

Месяц	Температура, °С, ср. за месяц		Осадки за месяц, мм		Относительная влажность воздуха, %	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
январь	1,7	1,6	19,8	16,3	81	90
февраль	0,0	2,8	13,1	36,8	74	85
март	5,8	7,5	23,1	29,5	76	79
апрель	13,8	10,5	13,3	16,2	67	76
май	19,4	17,9	105,5	114,5	75	72
июнь	23,3	23,8	61,8	119,3	64	76
июль	26,4	26,9	32,0	71,9	63	64
август	28,0	23,5	69,2	24,5	62	66

Годы исследований характеризовались высокой среднесуточной температурой воздуха и недостатком осадков, особенно в июле-августе.

Для снижения влияния недостатка влаги в фазу 3–4 листьев был проведен полив дождеванием с нормой полива 300–350 м³/га. В фазе 6–8 листьев было проведено окучивание и двукратный полив нормой полива 650–700 м³/га.

Климатические условия в степной зоне КБР благоприятствуют развитию такого известного многоядного вредителя, как хлопковая совка. В годы проведения исследований за вегетацию кукурузы мы наблюдали три поколения и шесть возрастов кукурузной совки.

В борьбе против кукурузной совки использовали трихограмму: провели двукратное внесение в фазу 6–8 листьев и в фазе выметывания метелок.

Кроме того, посеы были обработаны инсектицидами: Шарпей – 0,2 л/га, Тайра – 0,2 л/га, Эйфория – 0,3 л/га с добавлением Гумата – азотно-калийной смеси – 0,4 л/га. Использование биологической и химической защиты посевов от хлопковой совки позволило снизить негативное влияние вредителя на величину урожая кукурузы, экономический порог вредоносности не был достигнут.

Густота стояния формировалась в фазу 3–4 листа из расчета 70 тыс. раст./га для ранне-спелых (ФАО 180-200) и среднеспелых (ФАО 300) гибридов. Для среднепоздних гибридов (ФАО 400-450) сформирована густота стояния из расчета 60 тыс. раст./га.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью исследования является изучение новых гибридов селекции Института сельского хозяйства КБНЦ РАН по ряду хозяйственно-ценных признаков, прежде всего урожайности как комплексному признаку, уборочной влажности зерна и селекционному индексу в питомнике конкурсного сортоиспытания в зоне недостаточного увлажнения. Объектами для исследования послужили перспективные гибриды собственной селекции.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основным методом селекционной работы является гибридизация. Для проведения испытаний новых экспериментальных гибридов закладывается ряд последовательных питомников: контрольный питомник, питомник предварительного (малого) сортоиспытания и питомник конкурсного сортоиспытания.

Новые гибриды проходят предварительное испытание в контрольном питомнике, выделенные на следующий год – в питомнике предварительного сортоиспытания, затем – в питомнике конкурсного испытания в течение двух лет. По результатам этих исследований принимается решение о передаче гибрида на государственное сортоиспытание.

Так, в 2018 году в контрольном питомнике проходили испытание 753 новых гибрида различных групп спелости, из них 87 превысили на 15–30 % соответствующий стандарт по урожайности. В 2019 году в контрольном питомнике оценивалась 751 гибридная комбинация, выделено 79 гибридов. Лучшие гибриды проходили оценку в 2019 году в питомнике предварительного (малого) сортоиспытания, который насчитывал 202 номера.

Гибриды, которые достоверно превышали стандарт соответствующей группы спелости, прошли испытание в 2020 и 2021 годах в питомнике конкурсного сортоиспытания. Результаты испытания лучших гибридов по урожайности, уборочной влажности зерна и селекционному индексу представлены в таблице 2.

В результате испытания новых гибридов кукурузы в среднем за два года исследований (табл. 2) в группе ФАО 180-200 достоверно превысивших стандарт Краснодарский 194 МВ (5,85 т/га) по урожайности зерна не выявлено. В группе ФАО 300, где в качестве стандарта был Краснодарский 291 АМВ (7,37 т/га), выделился один перспективный гибрид кукурузы под шифром КБ 382 с урожайностью зерна в среднем за два года 8,38 т/га, это 13,7 % превышения над урожайностью зерна стандарта. В группе ФАО 400 выделен простой гибрид кукурузы КБ 440 с урожайностью зерна 10,84 т/га, что составляет 28,2 % превышения урожайности в сравнении со стандартом Машук 480 СВ (8,45 т/га).

В группе ФАО 450 (стандарт Краснодарский 510 СВ – 8,61 т/га) выделился простой гибрид кукурузы КБ 471 с урожайностью 11,46 т/га, превышение урожайности зерна над стандартом составило 33,1 %. Кроме того, представляют интерес гибриды КБ 191 и КБ 192 (ФАО 180-200), урожайность которых в 2020 году превышала урожайность стандарта (7,20 и 7,09 т/га соответственно против 6,98 т/га), и гибрид КБ 441 (ФАО 450) с урожайностью в 2020 году 8,71 т/га при урожайности стандарта 8,04 т/га. Гибрид КБ 420 отличался высокой урожайностью в 2021 году – 9,36 т/га, стандарт – 8,86 т/га.

В настоящее время большое внимание потребители семян обращают на влажность зерна при уборке. По этому показателю за годы испытаний выделились гибриды КБ 381 – 19,0 %, у стандарта – 20,6 %, КБ 441 (22,6 %), КБ 445 (22,8 %), что незначительно превышало

показатели стандарта – 21,1 %, в группе ФАО 450 уборочная влажность зерна гибридов КБ 460 и КБ 470 в среднем за два года испытаний находилась на уровне значений уборочной влажности зерна стандарта.

Таблица 2. Результаты конкурсного сортоиспытания перспективных гибридов кукурузы селекции ИСХ КБНЦ РАН 2020–2021 гг.

Table 2. The results of competitive variety testing of promising corn hybrids bred at the Institute of Agriculture, KBSC RAS 2020-2021

№	Название	Урожай зерна при 14% влажности, т/га			Уборочная влажность зерна, %			Селекционный индекс		
		2020	2021	среднее	2020	2021	среднее	2020	2021	среднее
ФАО 180-200										
1	Краснодарский 194 МВ, стандарт	6,98	4,72	5,85	17,4	16,8	17,1	4,01	2,81	3,42
2	КБ 191	7,20	4,68	5,94	18,5	19,0	18,8	3,89	2,46	3,16
3	КБ 192	7,09	4,02	5,55	19,1	19,6	19,4	3,71	2,05	2,86
	НСР₀₅	0,47	0,74	-						
	Точность опыта	1,70	4,23	-						
ФАО 300										
4	Краснодарский 291 АМВ, стандарт	7,58	7,17	7,37	19,9	21,2	20,6	3,81	3,38	3,58
5	КБ 381	7,99	5,44	6,71	16,1	21,8	19,0	4,45	2,49	3,53
6	КБ 382	9,21	7,56	8,38	21,5	18,8	20,2	4,97	4,02	4,15
	НСР₀₅	0,68	0,58	-						
	Точность опыта	2,09	2,20	-						
ФАО 400										
7	Машук 480 СВ, стандарт	8,04	8,86	8,45	20,0	22,1	21,1	4,02	4,01	4,00
8	КБ 420	4,46	9,36	6,91	24,1	23,2	23,7	1,85	4,03	2,92
9	КБ 440	11,50	10,19	10,84	24,4	22,0	23,2	4,71	4,63	4,35
10	КБ 441	8,71	8,02	8,36	19,7	25,5	22,6	4,42	3,14	3,70
11	КБ 445	5,68	8,90	7,29	21,1	24,5	22,8	2,69	3,63	3,20
	НСР₀₅	0,58	0,77	-						
	Точность опыта	2,35	2,63	-						
ФАО 450										
12	Машук 510 СВ, стандарт	8,15	9,07	8,61	20,6	23,3	22,0	3,95	3,89	3,91
13	КБ 460	7,24	8,63	7,93	25,1	19,3	22,2	2,88	4,47	3,57
14	КБ 470	9,74	8,92	9,33	20,6	25,0	22,8	4,73	3,59	4,09
15	КБ 471	11,44	11,49	11,46	24,0	26,0	25,0	4,67	4,42	4,58
16	КБ 472	9,55	8,51	9,03	24,5	24,3	24,4	3,89	3,36	3,70
	НСР₀₅	0,53	0,68	-						
	Точность опыта	1,80	2,24	-						

Кроме того, важной селекционной характеристикой гибрида является отношение урожайности (ц/га) к уборочной влажности зерна – селекционный индекс. По этому показателю лучшими гибридами являлись гибриды КБ 382 (4,15), КБ 440 (4,35), КБ 470 (4,09) и КБ 471 (4,58). Значения селекционного индекса этих гибридов превышали значения соответствующих стандартов.

Лучшие экспериментальные гибриды планируются к передаче на госсортоиспытание в последующие годы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка новых гибридов в ряде последовательных питомников испытаний позволила выделить три перспективных гибрида кукурузы: КБ 382 (ФАО 300) с урожайностью в среднем за два года испытаний 8,38 т/га, что превышает урожайность стандарта (Краснодарский 291АМВ – 7,37 т/га) на 1,01 т/га; гибрид КБ 440 (ФАО 400) показал урожайность 10,84 т/га при урожайности стандарта Машук 480 – 8,45 т/га и гибрид КБ 471 (ФАО 450) – 11,46 т/га, урожайность стандарта Машук 510СВ – 8,61 т/га. При этом уборочная влажность зерна гибрида КБ 381 была ниже уборочной влажности зерна стандарта – 19,0 % и 20,6 % соответственно.

Гибриды КБ 191, КБ 192, КБ 420 и КБ 441, урожайность которых несколько уступала или была на уровне стандартов, а в отдельные годы превышала урожайность стандартов, следует разослать в научно-исследовательские учреждения, являющиеся членами Координационного совета по кукурузе для экологического сортоиспытания (ЭСИ). Проведение ЭСИ позволит конкретизировать регионы использования этих гибридов и целесообразность семеноводства.

Кроме того, в ходе проведения испытаний нами отмечено, что комплексное применение биологических и химических методов защиты кукурузы в условиях жаркого климата степной зоны КБР позволяет эффективно бороться с хлопковой совкой на селекционных посевах.

Полив дождеванием в ранние сроки и последующий двукратный полив по бороздам нормой полива 650-700 м³/га способствовал нормальному формированию урожая кукурузы в селекционных питомниках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ломакин П. И. Экспортная стратегия как фактор продовольственной безопасности России // В сборнике: Устойчивое развитие мировой экономики и конкурентоспособность России в глобальной экономике: Материалы международной научно-практической конференции. Москва, 2016. С. 218–227.
2. Мананникова О. Н., Саяпин А. В., Бурмистрова А. А. Меры по обеспечению продовольственной безопасности России // Среднерусский вестник общественных наук. 2019. Т. 14. № 3. С. 193–208. DOI: 10.22394/2071-2367-2019-14-3-193-208.
3. Безуглова М. Н., Ли И. Е. Государственная политика по обеспечению продовольственной безопасности России в условиях международных санкций // Экономика и предпринимательство. 2017. № 5(82). С. 39–41.
4. Кушхабиев А. З., Аптаев С. П., Урусов А. К., Кагермазов А. М., Азубеков Л. Х., Хачидогов А. В., Шитиева З. Л. Кукуруза в Кабардино-Балкарии. Нальчик: Принт-Центр, 2017. 203 с.
5. Лобач И. А. Экспорт семян кукурузы и подсолнечника: возможности, стратегия, перспективы // Селекция, семеноводство и генетика. 2018. Т. 4. № 4(22). С. 4–6. DOI: 10.24411/2413-4112-2018-10008
6. Азубеков Л. Х., Аптаев С. П., Токов М. М., Шомахов Б. Р. Интенсификация семеноводства в КБР для реализации стратегических задач по импортозамещению семенного материала гибридов кукурузы на территории Российской Федерации // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 5. С. 79–85. DOI: 10.35330/1991-6639-2020-5-97-79-85.
7. Бжинаев Ф. Х., Кушхова Р. С., Казмахов А. В., Шамурзаев Р. И. Возделывание кукурузы на участках гибридизации в условиях зоны недостаточного увлажнения Кабардино-Балкарии // Образование, наука и производство. Сельскохозяйственные науки. 2013. № 3. С. 32–33.
8. Пыхтин И. Г., Гостев А. В., Нитченко Л. Б., Плотников В. А. Теоретические основы эффективного применения современных ресурсосберегающих технологий возделывания зерновых культур // Земледелие. 2016. № 6. С. 16–19.
9. Спиридонов Ю. Я., Ларина Г. Е., Шестаков В. Г. Методическое руководство по изучению гербицидов, применяемых в растениеводстве. Москва: Печатный город, 2009. 247 с.

10. Азубеков Л. Х., Урусов А. К. Памятка кукурузовода. Нальчик: ГНУ Кабардино-Балкарский НИИСХ, 2012. 33 с.
11. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва, 1985. 415 с.

Информация об авторах

- Шомахов Беслан Рашидович**, ст. науч. сотр., Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;
360004, Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0248-2619>
- Бжинаев Феликс Хасанович**, ст. науч. сотр., Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;
360004, Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6255-0396>
- Гяургиев Азамат Хасбиевич**, ст. науч. сотр., Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;
360004, Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8619-4130>
- Матаева Оксана Хасановна**, мл. науч. сотр., Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;
360004, Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224;
o-mataeva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3590-5734>

REFERENCES

1. Lomakin P.I. Export strategy as a factor of Russia's food security. *V sbornike: Ustojchivoe razvitie mirovoj ekonomiki i konkurentosposobnost' Rossii v global'noj ekonomike* [In the collection: Sustainable development of the world economy and Russia's competitiveness in the global economy. Materials of the international scientific and practical conference]. Moscow, 2016. Pp. 218–227. (In Russian)
2. Manannikova O.N., Sayapin A.V., Burmistrova A.A. Measures to ensure food security in Russia. *Central Russia Bulletin of Social Sciences*. 2019. V.14. No. 3. Pp. 193–208. (In Russian)
3. Bezuglova M.N., Li I.E. State policy to ensure food security in Russia under international sanctions. *Economics and Entrepreneurship*. 2017. No. 5 (82). Pp. 39–41. (In Russian)
4. Kushkhabiev A.Z., Appaev S.P., Urusov A.K., Kagermazov A.M., Azubekov L.Kh., Khachidogov A.V., Shipsheva Z.L. *Kukuruza v Kabardino-Balkarii: monografiya* [Corn in Kabardino-Balkaria: monograph]. Nalchik: Print Center Publishing House, 2017. 203 p. (In Russian)
5. Lobach I.A. Export of corn and sunflower seeds: opportunities, strategy, prospects. *Breeding, seed production and genetics*. 2018. Vol. 4. No. 4 (22). Pp. 4–6. (In Russian)
6. Azubekov L.Kh., Appaev S.P., Tokov M.M., Shomakhov B.R. Intensification of seed production in the KBR for the implementation of strategic tasks for import substitution of seed material of corn hybrids in the Russian Federation. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2021. No. 5. Pp. 79–85. (In Russian)
7. Bzhinaev F.Kh., Kushkhova R.S., Kazmakhov A.V., Shamurzaev R.I. Cultivation of corn in the areas of hybridization in the conditions of the zone of insufficient moisture in Kabardino-Balkaria. *Education, science and production. Agricultural sciences*. 2013. No. 3. Pp. 32–33. (In Russian)
8. Pykhtin I.G., Gostev A.V., Nitchenko L.B., Plotnikov V.A. Theoretical foundations for the effective application of modern resource-saving technologies for the cultivation of grain crops. *Agriculture*. 2016. No. 6. Pp. 16–19. (In Russian)

9. Spiridonov Yu.Ya., Larina G.E., Shestakov V.G. *Metodicheskoe rukovodstvo po izucheniyu gerbicidov, primenyaemyh v rastenievodstve* [Methodological guide to the study of herbicides used in crop production]. Moscow: Pechatnyy gorod, 2009. 247 p. (In Russian)
10. Azubekov L.Kh., Urusov A.K. *Memo to the corn grower*. Nalchik, 2012. 33 p. (In Russian)
11. Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Methods of field experience]. Moscow: Kolos, 1985. 415 p. (In Russian)

Information about the authors

Shomakhov Beslan Rashidovich, Senior Researcher, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360004, Russia, Nalchik, 224 Kirov street;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0248-2619>

Bzhinaev Felix Khasanovich, Senior Researcher, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360004, Russia, Nalchik, 224 Kirov street;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6255-0396>

Gyaurgiev Azamat Khasbievich, Senior Researcher, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360004, Russia, Nalchik, 224 Kirov street;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8619-4130>

Mataeva Oksana Khasanovna, Junior Researcher, Institute of Agriculture – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360004, Russia, Nalchik, 224 Kirov street;

o-mataeva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3590-5734>

Преимущества и риски реорганизации научных организаций: опыт Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра РАН

А. Л. Ронжин

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр
Российской академии наук
199178, Россия, Санкт-Петербург, 14-я линия Васильевского острова, 39

Аннотация. Обсуждаются проблемы реорганизации академических институтов, возможные риски и прогнозируемые преимущества, возникающие при объединении нескольких научно-исследовательских организаций. Рассматриваются результаты проведенной ранее реформы в области высшего образования, в ходе которой было проведено укрупнение университетов. Приводятся основные отличительные особенности академических институтов, которые следует учесть при их объединении. Большинство проектов по реорганизации институтов выполнено в регионах по организационному принципу с участием институтов различных научных направлений с целью уменьшения на них бюрократической нагрузки и создания новых междисциплинарных подразделений. Риски от реорганизации прежде всего связаны переоформлением лицензий, и в этом плане при выборе базовой организации следует оценить спектр лицензионной (производственной, научной, образовательной, издательской и др.) деятельности каждой организации и их активность. Существующие сегодня небольшие по численности академические институты имеют риски не быть допущенными к конкурсам по мероприятиям национальных проектов в случае применения абсолютных формальных критериев. Сейчас институты находятся с университетами в одном ведомстве, но последние имеют гораздо больший бюджет и влияние, поэтому по одиночке академические институты не смогут конкурировать и рассматривают варианты взаимовыгодного сотрудничества или реорганизации.

Ключевые слова: реорганизация, академический институт, реформа, риски, бюрократизация, федеральный исследовательский центр

Поступила 07.10.2022, одобрена после рецензирования 12.10.2022, принята к публикации 15.10.2022

Для цитирования. Ронжин А. Л. Преимущества и риски реорганизации научных организаций: опыт Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра РАН // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 158–169. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-158-169

JEL: I23, P41

Review article

Risks and benefits arising from the reorganization of scientific organizations: experience of the St. Petersburg Federal Research Center RAS

A.L. Ronzhin

St. Petersburg Federal Research Center
Russian Academy of Sciences
199178, Russia, St. Petersburg, 39, 14th line of Vasilyevsky Island

Annotation. The problems of reorganization of academic institutes, possible risks and predictable benefits arising from the association of several research organizations are discussed. The results of the earlier reform in the field of higher education are considered, during which the integration of universities

was also carried out. The main distinctive features of academic institutes that should be considered when combining them are presented. Most of the projects on the reorganization of institutes were carried out in the regions according to an organizational principle with the participation of institutes of various scientific fields in order to reduce their bureaucratic load and create new interdisciplinary divisions. Risks from restructuring are primarily related to reissuing licenses and in this regard, when choosing a base organization, the spectrum of licensed (production, scientific, educational, publishing, etc.) activities of each organization and their activity should be evaluated. The current academic institutes that are small in number have the risk of not being admitted to competitions for national project events, if absolute formal criteria will be applied. Now institutes and universities belong to the same ministry, but latter have a much larger budget and influence, so academic institutes alone cannot compete and should consider options for mutually beneficial cooperation or reorganization.

Key words: reorganization, academic institute, reform, risks, bureaucratization, federal research center

Submitted 07.10.2022,

approved after reviewing 12.10.2022,

accepted for publication 15.10.2022

For citation. Ronzhin A.L. Risks and benefits arising from the reorganization of scientific organizations: experience of the St. Petersburg Federal Research Center RAS. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2022. No. 5 (109). Pp. 158–169. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-158-169

ВВЕДЕНИЕ

В перечне организаций, подведомственных Минобрнауки России, на 14 декабря 2018 года находилось более 40 федеральных научно-исследовательских центров, осуществивших реорганизацию, в результате которой было произведено объединение нескольких десятков институтов. Большинство региональных центров преобразовались по организационному принципу с участием институтов различных научных направлений с целью уменьшения на них бюрократической нагрузки и создания новых междисциплинарных подразделений. Также часть центров создана для выполнения определенных научных задач в рамках приоритетных направлений научно-технологического развития РФ, где объединились институты по близким или смежным фундаментальным научным направлениям. Большинство институтов Санкт-Петербурга имеют небольшую численность сотрудников, поэтому в результате присоединения отдельного института к одному из университетов или другой крупной организации он фактически потеряет свой суверенитет, поэтому вариант объединения академических институтов на паритетных началах видится наиболее перспективным.

Вначале рассмотрим несколько базовых аспектов реорганизации юридических лиц. В работе [2] рассмотрены механизмы перехода прав и обязанностей к создаваемому юридическому лицу путем различных форм реорганизации, таких как присоединение или слияние. В работе [3] рассмотрены организационно-правовые формы научных учреждений, а также взаимодействие между Федеральным агентством научных организаций и Российской академией наук в период реформирования академической науки. В работе [9] рассматриваются основные трансформационные процессы предприятий – реструктуризация, реорганизация, реформирование, направленные на улучшение управления, повышение эффективности производства и конкурентоспособности продукции.

Более подробно процессы реорганизации юридических лиц в формах: слияние, присоединение, разделение, выделение, преобразование – рассмотрены в работе [8]. Наиболее востребованной является процедура присоединения, при которой прекращается хозяйственная деятельность одного юридического лица, а правопреемник продолжает функционировать с дополнительным объемом прав и обязанностей.

Опыт реорганизации вузов, проводимой в рамках реформирования в сфере высшего образования, направленного на оптимизацию организационной структуры вузов, снижение издержек, ускоренное внедрение новых образовательных технологий, приводится в работах [4, 6, 7]. Одним из преимуществ объединения вузов называется экономия на управленче-

ском аппарате за счет эффекта от масштаба и сокращения подразделений, имеющих дублирующие функции. Также обсуждается понятие институциональной комплементарности, заключающееся в дополнении возможностей несколько институтов, что позволяет сформировать согласованную и стабильную структуру для выполнения некоторой задачи в определенный период времени.

В работе [14] дается оценка продолжающимся реформам образования и науки, подчеркивается острый дефицит высококвалифицированных кадров, усугубляемый утечкой мозгов. Делается вывод, что университеты из-за высокой преподавательской нагрузки не смогут заменить институты РАН и стать эффективными центрами фундаментальных исследований.

Выполнение показателей, заявленных в дорожных картах новых федерально-исследовательских центров, требует дополнительных кадровых ресурсов. Кроме того, учитывая, что средний возраст научных сотрудников в академических институтах довольно высок, проблема омоложения кадров крайне актуальна. В рамках реализации мероприятий национального проекта «Наука» для привлечения молодых перспективных кадров к научной деятельности в конце 2018 года был определен дополнительный бюджет, направленный на создание новых исследовательских лабораторий в академических институтах. В работах [15, 16] описаны опыт СПИИРАН по созданию новых молодежных лабораторий и основные риски их становления, прежде всего выполнение показателей по государственному заданию (статьи в журналах) и обеспечение заработной платы научных сотрудников свыше 200% от средней зарплаты в регионе (привлечение дополнительных внебюджетных средств).

Для привлечения и закрепления молодых кадров в академическом институте в работе [13] обсуждается создание центров коллективного пользования и молодежных научных подразделений с привлечением студентов и аспирантов из технических университетов.

В работе [10] описана дорожная карта реорганизации шести федеральных государственных бюджетных научных учреждений в форме присоединения в качестве структурных подразделений к Институту управления образованием Российской академии образования.

В последующей работе [11] авторы описывают практический опыт разработки стратегии развития научного института при реформировании академического сектора науки, перечисляют основные проблемы, характерные для многих институтов, в частности, недостаточная согласованность прикладных результатов проводимых исследований с конкретными запросами потенциальных потребителей, отсутствие механизма доведения прикладных результатов до использования в массовой практике, отсутствие механизма и инструментов централизованного продвижения научной продукции и услуг, производимых сотрудниками институтов.

В работе [5] приведены основные данные по проекту реорганизации научно-исследовательских институтов, осуществляющих научное обеспечение развития агропромышленного комплекса Алтайского края и Республики Алтай. Для решения стратегических задач государства в агропромышленном секторе экономики, обеспечения продовольственной безопасности страны, совершенствования инфраструктуры научной и инновационной деятельности был создан ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агроботехнологий» на основе присоединения к базовому учреждению ФГБНУ «Алтайский научно-исследовательский институт сельского хозяйства» пяти научно-исследовательских институтов региона в статусе структурных подразделений.

В работе [1] описаны особенности создания междисциплинарного Уфимского Федерального исследовательского центра РАН, основной задачей которого является научно-техническое обеспечение развития сельского хозяйства и реализации Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы в Республике Башкортостан.

В перечне организаций, подведомственных Российской академии сельскохозяйственных наук, утвержденном распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 июня 2010 г. N 1102-р, содержалось 259 государственных научных учреждений, в том числе 191

научно-исследовательский институт, 50 опытных станций, 2 библиотеки и 4 научных центра, среди которых один межрегиональный (Межрегиональный научно-технический центр по племенному птицеводству Российской академии сельскохозяйственных наук) и три региональных (Северо-Западный региональный научный центр Российской академии сельскохозяйственных наук; Северо-Восточный региональный научный центр Российской академии сельскохозяйственных наук; Дальневосточный региональный научный центр Российской академии сельскохозяйственных наук).

Перечень организаций, подведомственных Российской академии медицинских наук, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 2 октября 2009 г. N 1427-р, содержал 54 научные организации, в том числе два учреждения Российской академии медицинских наук: Сибирское отделение РАМН и Северо-Западное отделение РАМН, выполняющие функции координации научных центров и институтов в регионах.

Перечень организаций, подведомственных Российской академии наук, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 14 декабря 2009 г. N 1938-р, включал 430 научных организаций, в том числе 12 научных учреждений при Президиуме Российской академии наук; 181 научное учреждение при 9 отделениях Российской академии наук; 66 научных учреждений при 15 региональных научных центрах Российской академии наук; 171 научное учреждение при 3 региональных отделениях Российской академии наук.

Перечень организаций, подведомственных ФАНО России, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2013 года N 2591-р, включал 826 научных учреждений.

Перечень организаций, подведомственных Министерству науки и высшего образования Российской Федерации, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 июня 2018 г. N 1293-р, включал 607 научных организаций, в том числе 23 федеральных исследовательских центра, 18 федеральных научных центров, 1 Федеральный научно-исследовательский центр, 1 Федеральный научно-клинический центр, 1 Федеральный научный агроинженерный центр, 5 федеральных аграрных научных центров, 1 Аграрный научно-исследовательский центр, 1 Федеральный Алтайский научный центр, 1 Федеральный научно-исследовательский социологический центр.

В 2007 году была проведена первая структурная реорганизация в соответствии с постановлением Президиума Российской академии наук от 27 декабря 2005 года № 293 «О реорганизации Объединенного института высоких температур РАН» (ОИВТ РАН). Реорганизация была проведена путем присоединения к ОИВТ РАН Института высоких температур РАН, Института теплофизики экстремальных состояний ОИВТ РАН, Научно-технологического центра энергосберегающих процессов и установок ОИВТ РАН и Инженерно-эксплуатационного комплекса ОИВТ РАН с прекращением деятельности последних в качестве юридических лиц. В результате реорганизации все ранее существовавшие в рамках ОИВТ РАН организации были объединены в единое юридическое лицо под руководством академика В. Е. Фортова.

Опыт реформ, проведенных в сфере науки и образования за рубежом, рассматривается в работах [18–21]. В целом надо заметить, что данные научно-образовательные организации отличаются исторически сложившимися традициями управления, и качество их реформирования может значительно повлиять на подготовку кадров и отразиться на социо-экономическом развитии, обороноспособности страны только спустя продолжительный период времени.

Укрупнение организаций – во многом это следование требованиям современной эпохи глобализации. В настоящее время каждое учреждение регулярно подает сведения о своей деятельности в различные информационные системы. Зачастую их пользовательские интерфейсы недостаточно интуитивно понятны, а алгоритмы обработки данных содержат программные недочеты, не говоря уже о недостаточном качестве работы служб техниче-

ской поддержки. Централизованная работа с такими системами экономит временные ресурсы и учреждений, и учредителя. Научные сотрудники стараются дистанцироваться от этих проблем, и по опыту проведенных реорганизаций организационные изменения не заметны для ученых. Более того, способствуют росту корпоративной культуры, сплочению и обмену знаниями как в специализированных, так и междисциплинарных исследованиях. Также надо иметь в виду, что в рамках национальных проектов «Наука», «Образование» в основном только крупные организации получают целевое бюджетное финансирование. Первые мероприятия по финансированию развития инфраструктуры прошли без участия небольших по численности академических институтов. Сейчас институты находятся с университетами в одном ведомстве и у них гораздо больше бюджет и влияние, поэтому по одиночке академические институты не смогут конкурировать с ними. Далее рассмотрим особенности проводимых процессов реорганизации исследовательских институтов в последние годы.

РИСКИ АКАДЕМИЧЕСКИХ ИНСТИТУТОВ ПРИ РЕОРГАНИЗАЦИИ

Теперь последовательно рассмотрим, какие риски и преимущества возникают у академических институтов в случае их реорганизации. Надо заметить, что институты, находящиеся под научно-методическим руководством Российской академии наук, обладают своей аутентичностью, и после ряда реформ большинство из них имеют довольно небольшую численность научных сотрудников, занимающихся уникальной проблематикой. На рисунке 1 перечислены основные риски.

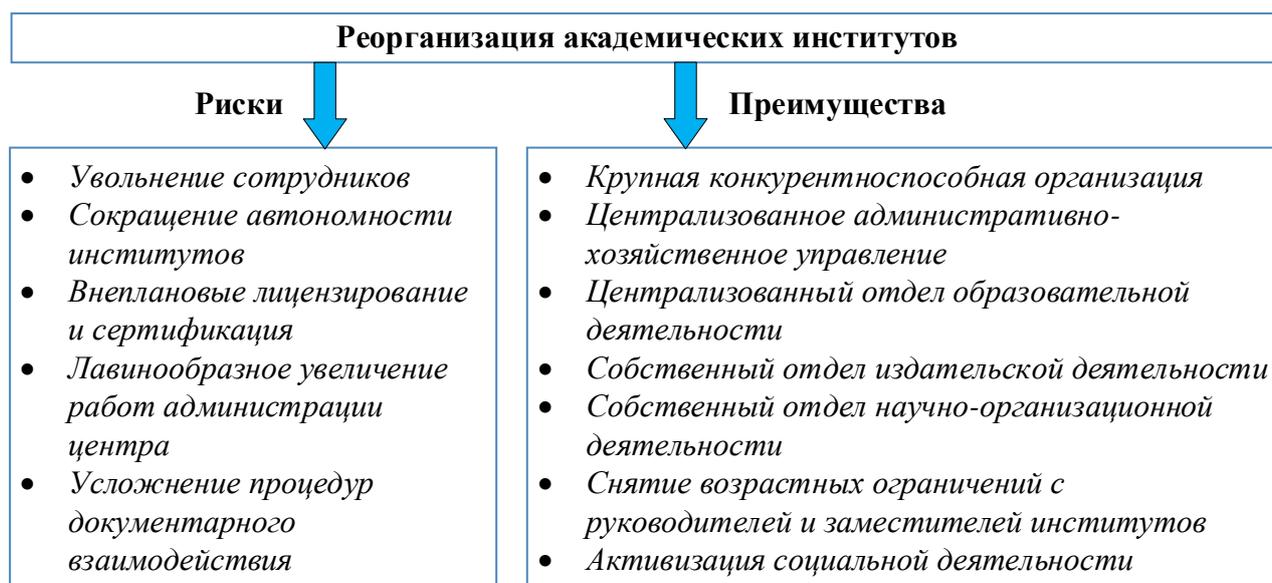


Рис. 1. Риски и преимущества институтов при реорганизации

Fig. 2. Risks and benefits of institutes in the reorganization

Миф об увольнении сотрудников является наиболее часто обсуждаемым. Прежде всего надо заметить, что за всеми произведенными реорганизациями как университетов, так и академических институтов активно следит профсоюз и обсуждает возникающие проблемы. Также в подзаконных актах, описывающих процессы преобразования организаций, указано, что в ходе реорганизации все сотрудники присоединяемых юридических лиц должны быть трудоустроены. Особенно во время первой волны реорганизации учреждений ФАНО России переживали администрации присоединяемых институтов, поскольку ожидали, что централизованная бухгалтерия и другие службы возьмут на себя все функции по обеспечению

институтов. Однако уровень бюрократизации и число обеспечивающих информационных систем с каждым годом только растет, и с ними должны работать технически подготовленные специалисты, а в институтах обязательно должны оставаться эксперты в своей области.

Другой миф связан с сокращением автономности и финансирования институтов. Финансирование академических институтов в последние годы производится по бюджетным темам, которое идет на прямые и косвенные расходы лабораторий, участвующих в реализации данной темы. Таким образом, после объединения институтов лаборатории по-прежнему имеют свое бюджетное финансирование. Аналогично следует вести политику относительно внебюджетных проектов и грантов. По опыту СПИИРАН, лаборатория или группа лабораторий, у которых идет хоздоговорная работа, самостоятельно распределяют полученные средства на нужды проекта. Накладные расходы в размере 12% от годового бюджета проекта идут на оплату коммунальных расходов, работу административно-хозяйственного аппарата.

На самом деле основной риск, что и подтвердилось на практике, при реорганизации связан с внеплановыми лицензированием и сертификацией. Действительно, при изменении наименования юридического лица большинство лицензий и сертификатов потребует повторной процедуры их получения. Здесь с каждым типом лицензирования следует разбираться отдельно. Есть виды лицензий, которые предусматривают упрощенный режим, если изменения касаются только реквизитов учреждения. Также следует отметить, что подготовка информационно-технического обеспечения, удовлетворяющего нормативным требованиям, является основным ресурсоемким этапом, поэтому если лицензия была получена недавно, то повторить завершающий контрольный этап получения лицензии, как правило, не составляет существенных затрат. Если же лицензия заканчивает свое действие, то так или иначе ее необходимо получать либо на институт, либо уже на центр. Причем в последнем варианте для погашения финансовых затрат возможно запросить дополнительную субсидию, направленную на реорганизацию. Однако далеко не все учреждения ее получали. Кроме того, большинство лицензий и сертификатов базовой организации центра допускается использовать присоединяемыми институтами, у которых в результате открываются новые возможности и внебюджетные проекты.

Также серьезной проблемой при реорганизации является лавинообразное увеличение работ администрации центра. С каждым годом увеличиваются число информационных систем и сложность их пользовательских интерфейсов. Из одних систем мы извлекаем данные о нашей публикационной активности, в других регистрируем свои результаты, создаем заявки и отчеты на гранты, подаем отчетные сведения. Не каждый научный сотрудник следит за своими показателями и уделяет внимание оформлению своих статей. Правильнее даже сказать, ученые, стремящиеся сделать открытие и получить выдающийся научный результат, не должны отвлекаться на технические вопросы обеспечения научной деятельности. К сожалению, не у всех институтов достаточно финансовых ресурсов, чтобы содержать дополнительных сотрудников, специализирующихся на редактировании статей, корректровке метаданных опубликованных статей в системах индексации и так далее.

При создании центра большая часть этих технических работ должна лечь на его администрацию, то есть фактически на сотрудников базовой организации. Привлечение здесь средств автоматизации внутреннего документооборота позволит реализовать многие из процессов сбора, анализа данных с институтов и последующей загрузкой во внешние системы. Также при выборе базовой организации следует оценить готовность и потенциал ее администрации, подтвержденные текущими видами деятельности, характерными для научных организаций, в частности Санкт-Петербурга.

Риск усложнения процедур документарного взаимодействия связан с централизованным административным аппаратом. Наличие централизованных служб снижает бюрократиче-

скую нагрузку с присоединяемых институтов, с одной стороны, однако возникает необходимость согласования документов с руководством центра. Также у многих вызывает опасение, что единственная гербовая печать будет только в центре, и оформление финансовых документов потребует еще больше временных ресурсов. Что особенно критично при оформлении конкурсной документации, которая как правило готовится в жесткие сроки, а сшивание пакета документов и утверждение подписью руководителя происходит перед отъездом последнего ночного поезда в Москву. Тут следует учесть, во-первых, территориальную сосредоточенность институтов, во-вторых, активное применение недокументарных цифровых форм внутреннего взаимодействия и, в-третьих, заинтересованность центра в продвижении институтов и повышении благосостояния их сотрудников.

Таким образом, риски от реструктуризации прежде всего связаны с переоформлением лицензий, и в этом плане при выборе базовой организации следует тщательно оценить спектр лицензионной (производственной, научной, образовательной, издательской и др.) деятельности каждой организации и их активность. Также следует оценить подготовленность административно-управленческого аппарата базовой организации к увеличению объема работ, наличие навыков работы по широкому спектру типов деятельности, а также существующую степень автоматизации информационного взаимодействия и документооборота.

ПРЕИМУЩЕСТВА ИНСТИТУТОВ ПРИ ОБЪЕДИНЕНИИ В ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

Во-первых, при объединении институтов будет сформирована крупная конкурентноспособная организация. Большая часть мероприятий в рамках национальных проектов осуществляется с применением 44-ФЗ и формальных требований к исполнителям. Учитывая размер бюджета мероприятий, в них смогут принять участие только крупные организации. Среди возможных критериев отбора участников: количество патентов на изобретение, имеющих правовую охрану за рубежом; объем средств, полученных от использования результатов интеллектуальной деятельности; доля внебюджетных средств в общем объеме финансирования научных исследований; фактическая загрузка оборудования центров коллективного пользования и стоимостной объем выполненных работ на них и другие. Многие институты имеют достаточно хорошие показатели публикационной активности, но не имеют центров коллективного пользования и большого объема хозяйственных работ. Кроме того, если брать абсолютные показатели, то даже по числу статей институты сразу оказываются ниже университетов. Например, при отборе организаций, имеющих право самостоятельно присуждать ученые степени в своих диссертационных советах, были использованы как раз абсолютные показатели. Распоряжением от 23 августа 2017 года №1792-р утвержден перечень, в который включены 4 научные организации и 19 вузов. В результате объединения институтов может быть создана крупная конкурентноспособная организация, удовлетворяющая формальным требованиям, предъявляемым к исполнителям мероприятий национальных проектов.

Во-вторых, это создание централизованного административно-хозяйственного управления, решающего вопросы всех подразделений центра. Ранее при СПбНЦ РАН существовало управление, обеспечивающее все институты города поддержкой хозяйственной деятельности, включая закупку билетов на транспорт, проведение плановых работ по ремонту зданий, сетей и других инфраструктурных объектов. Сейчас каждый институт должен иметь более десятка обязательных штатных сотрудников для нормативно предусмотренного обеспечения деятельности предприятия. Кроме того, высокая бюрократизация требует наличия соответствующих локальных актов и положений, регламентирующих внутренний порядок работы и обеспечение нормативных требований. Так, в январе 2019 года все институты согласовывали свои положения о закупках, содержащие свыше 300 страниц, отличающиеся в основном только реквизитами института, а в феврале потребовалась их коррекция. Причем согласование и утверждение Положения осуществляется в документальной форме. Кроме

того, существует большой перечень документов, которые необходимо выкладывать на сайтах институтов в целях противодействия коррупции и по другим нормативным требованиям. Создание единого комплекса положений только для центра существенно снизит бюрократическую нагрузку на администрацию институтов и обслуживающие департаменты учредителя. За счет централизованного управления повышается качество сопровождения научной деятельности. Колоссальные средства, которые ежегодно платятся каждым учреждением за покупку лицензионного программного обеспечения, поддержание технических условий аттестованных помещений и оборудования, значительно сокращаются за счет их совместного использования.

В-третьих, это возможность создания централизованного отдела образовательной деятельности. Организация учебного процесса также не избежала чрезмерной бюрократизации с преобразованием аспирантуры в третий этап обучения. Конечно, по сравнению с университетами, предоставляющими специальное профессиональное и дополнительное образование, имеющими бакалавриат, магистратуру, аспирантуру, академические институты находятся в облегченном положении и стараются по-прежнему фокусироваться только на «научной аспирантуре». Для большинства институтов контрольные цифры приема аспирантов в год в среднем составляют около 10 человек. Несмотря на небольшое число обучающихся, институты по каждой специальности должны иметь кадровое, учебно-методическое и материально-техническое обеспечение. Для сокращения расходов на предоставление образовательных услуг институтами уже были приняты некоторые меры. Например, преподаватели СПИИРАН читают лекции по истории науки и философии, а также иностранному языку аспирантам, в том числе из других академических институтов.

Нормативные требования также накладываются на информационное сопровождение образовательного процесса. Так, сайт аспирантуры должен содержать ряд регламентированных структур данных, а сведения об обучающихся и защищающихся регулярно отправляются в ФИС ФРДО, ЕГИСМ и ряд других автоматизированных информационных систем. Не менее жесткие требования предъявляются к работе диссертационных советов. Создание единых служб, отвечающих за информационное, кадровое, материально-техническое обеспечение образовательной деятельности, упростит работу локальных отделов аспирантур и диссертационных советов присоединяемых учреждений.

В-четвертых, это возможность создания собственного отдела издательской деятельности. Почти каждый университет сейчас имеет собственную типографию, оперативно обеспечивающую подразделения печатной и полиграфической продукцией, содержание подобного отдела в отдельных институтах коммерчески не выгодно, поэтому приходится обращаться к услугам сторонних организаций. При работе с периодическими изданиями, кроме типографских работ, большая доля деятельности посвящена процессу обработки статей от приема, рецензирования, верстки до распространения подписчикам и предоставления метаданных в системы индексации. Большая часть перечисленных работ сейчас успешно реализуется на базе электронных редакционных платформ, которые позволяют одновременно обслуживать несколько изданий (журналов, конференций). Это позволяет ускорить процесс взаимодействия авторов, рецензентов, редакторов, читателей, использовать общие базы данных экспертов и издаваемых материалов, а также унифицировать взаимодействие с внешними системами (WoS, Scopus, РИНЦ, ВАК, НЭБ, Почта России, PISA, DOAJ, EBSCO, SCIMAGO и др.) Это влияет как на улучшение качества издаваемой литературы, так и на ее доступность, что повышает цитируемость и рейтинги как авторов, так и взаимодействующих изданий. Журнал «Информатика и автоматизация» (ранее «Труды СПИИРАН») перешел на электронную редакционную платформу с 2014 года, которая регулярно обновляется и используется несколькими издательствами [12].

В-пятых, это возможность создания собственного отдела научно-организационной деятельности. Наличие собственной типографии и средств тиражирования логотипированных

электронных носителей информации позволяет значительно снизить расходы при организации научных конференций и выставок, но еще больший потенциал может быть раскрыт при совместном использовании площадей и отделов поддержки научных мероприятий. Большую часть времени актовые залы институтов простаивают. Здесь нельзя не упомянуть еще об одной проблеме, характерной для Санкт-Петербурга. Многие институты размещаются в зданиях городской собственности на основе бессрочных договоров безвозмездного пользования, по условиям которых учреждение самостоятельно обеспечивает технические условия содержания объекта. В то же время учредитель имеет право выделять финансирование на капитальный ремонт только под здания, находящиеся в федеральной собственности и на оперативном управлении в институтах. В результате, не имея собственных средств, институты зачастую не имеют возможности содержать здания в удовлетворительном состоянии. Более активное использование площадей институтов для проведения конференций позволит привлечь дополнительные средства, в том числе на содержание зданий, внутренних помещений, закупку новой мультимедиа техники.

В-шестых, это снятие возрастных ограничений с руководителей и заместителей институтов. С 2015 года согласно 443-ФЗ лица, занимающие должности руководителей, заместителей руководителей государственных научных организаций и достигшие возраста шестидесяти пяти лет, переводятся на иные должности. Вследствие этого ограничения за последние 3 года сменились директора и их заместители большинства научных институтов. При присоединении института к исследовательскому центру формально он становится структурным подразделением, и данное ограничение не применяется к его руководителям и заместителям. С точки зрения наименования должности также изменений не происходит, поскольку, как правило, руководителем центра является председатель, а присоединяемыми институтами по-прежнему управляют директора. Фактически в результате присоединения с руководства и администрации институтов снимается бюрократическая нагрузка по внешнему взаимодействию, прежде всего с учредителем.

И, наконец, активизация социальной деятельности. Многие институты имеют многолетнюю историю, и их научные сотрудники являются известными деятелями в области искусства и литературы [17]. Зачастую об их произведениях и уникальных способностях руководство узнает случайно. Создание внутренней группы в социальной сети будет способствовать объединению коллективов и восстановлению корпоративной культуры научных работников, характерной для советских времен, когда уделялось достаточно внимания культурно-массовым мероприятиям, проводимым в нерабочее время сотрудниками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные выше риски и преимущества, возникающие при объединении академических институтов, являются наиболее обсуждаемыми. При реализации конкретного состава участвующих институтов надо учитывать специфику их научного направления и другие виды деятельности. Важно иметь в виду, что в будущем только крупные организации имеют шансы на привлечение дополнительных средств по мероприятиям национальных проектов. После объединения университетов и академических институтов в одно ведомство низкая конкурентоспособность малочисленных академических институтов стала особенно очевидна. Практически все регионы провели реорганизацию институтов к 2019 году и создали региональные федеральные научно-исследовательские центры. Для сохранения институтов, их научных школ и фондов, активного участия в национальных проектах «Наука» и «Образование» следует оценить варианты кооперации институтов центрального региона. В случае присоединения отдельного института к значительно большей, в частности образовательной, организации есть риски, что фактически он потеряет свой суверенитет, поэтому вариант объединения ряда академических институтов в единую крупную конкурентоспособную организацию видится наиболее перспективным.

В соответствии с приказами Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1399 от 18 декабря 2019 года и №768 от 08 июля 2020 года было создано Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН). В настоящее время СПб ФИЦ РАН перенимает опыт и наследие объединившихся научных организаций и успешно продолжает исследования по созданию и внедрению стратегических цифровых технологий и роботизированных систем в интересах повышения эффективности процессов управления социально-экономическим развитием Северо-Западного региона России, обеспечения безопасности и повышения качества жизни ее граждан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ахметов В. Я., Гатауллин Р. Ф., Галикеев Р. Н.* Проблемы и перспективы организации регионального агропромышленного научно-производственного кластера в Республике Башкортостан // *Экономика: вчера, сегодня, завтра.* 2017. Т. 7. № 5А. С. 27–44.
2. *Аширова А. А.* Некоторые проблемы правопреемства при реорганизации юридических лиц // *Актуальные проблемы правоведения.* 2015. № 1–2 (45–46). С. 12–15.
3. *Бехер В. В.* К вопросу об особенностях финансово-правового регулирования деятельности государственных учреждений науки // *Правовая культура и образование.* 2015. № 3(22). С. 114–119.
4. *Вольчик В. В., Савко П. О., Маскаев А. И.* Комплементарность институциональных и организационных изменений в контексте реорганизации вузов // *Институциональный анализ образования.* 2018. Т. 10. № 4. С. 156–172. DOI: 10.17835/2076-6297.2018.10.4.156-172.
5. *Гаркуша А. А., Никитина Е. Д.* О проекте создания ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» // *Научное обеспечение зернового производства Алтайского края. Сборник статей. ФГБНУ Алтайский НИИСХ. Барнаул.* 2016. С. 3–19.
6. *Дерябина Е. В., Богданова Т. Ю.* Комплексный подход к решению проблем нормирования труда в государственных и муниципальных учреждениях Томской области // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент.* 2018. Т. 12. № 1. С. 51–57.
7. *Корытцев М. А.* Реформа бюджетных учреждений и перспективы формирования конкурентных структур в сфере профессионального образования // *Journal of economic regulation (Вопросы регулирования экономики).* 2010. Т. 1. № 1. С. 47–55.
8. *Костикова Г. В.* Присоединение как форма реорганизации юридического лица: новеллы законодательства // *Вестник Воронежского института МВД России.* № 2. С. 76–82.
9. *Лезина О. А.* Роль реструктуризации предприятия в условиях современной экономики // *Бюллетень науки и практики.* 2017. № 3(4). С. 89–98.
10. *Неустроев С. С., Пуденко Т. И., Чечель И. Д., Потемкина Т. В.* Стратегические приоритеты развития Института управления образованием РАО в условиях реформирования академического сектора науки. Опыт стратегирования // *Управление образованием: теория и практика.* 2015. № 1 (17). С. 1–19.
11. *Неустроев С. С., Пуденко Т. И.* Стратегия развития научной организации в условиях реформирования академического сектора науки // *Информатизация образования и науки.* 2015. № 3(27). С. 3–17.
12. *Мирошникова Е. П., Левоневский Д. К., Мотиенко А. И.* Модули импорта/экспорта и аналитики данных в электронной редакции журнала «Труды СПИИРАН» для автоматизированного взаимодействия с глобальными индексами и агрегаторами // *Проблемы искусственного интеллекта.* 2019. № 3 (14). С. 58–75.
13. *Полилов А. Н.* Опыт взаимодействия Института машиноведения РАН с техническими университетами г. Москвы // *Машиностроение и инженерное образование.* 2006. № 1(6). С. 64–73.

14. Полтерович В. М. Институты догоняющего развития (к проекту новой модели экономического развития России) // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2016. № 5. С. 34–56. DOI: 10.15838/esc/2016.5.47.2
15. Ронжин А. Л. Стратегии «холодного старта» новых академических лабораторий. Управленческое консультирование. 2019. № 5. С. 68–79. <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2019-5-68-79>
16. Ронжин А. Л., Железный М. Цифровизация управленческих процессов в научно-образовательных организациях // Управленческое консультирование. 2018. № 10. С. 109–117. <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2018-10-109-117>
17. Улаков М.З. Выдающийся ученый, талантливый организатор науки, общественный и политический деятель (к 80-летию Петра Мацовича Иванова) // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 2 (106). С. 5-10.
18. Inzelt A., Schubert A. Collaboration between researchers from academic and non-academic organisations // *Acta Oeconomica*. 2011. 61(4). Pp. 441–463.
19. Kim S., Jung D.-J. Ideology, nationalism, and education: the case of education reforms in the two Koreas // *Asia Pacific Education Review*. 2019. Vol. 20. No. 2. Pp. 295–304.
20. Kohtamäki V. Academic leadership and university reform-guided management changes in Finland // *Journal of Higher Education Policy and Management*. 2019. 41(1). Pp. 70–85.
21. Szabo C. Hungary: Academy needs more than internal reform // *Nature*. 2006. 442(7101). P. 353.

Информация об авторе

Ронжин Андрей Леонидович, д-р техн. наук, профессор, директор, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук;
199178, Россия, Санкт-Петербург, 14-я линия Васильевского острова, 39;
ronzhin@ias.spb.su, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8903-3508>

REFERENCES

1. Akhmetov V.Ya., Gataullin R.F., Galikeev R.N. Problems and prospects of organizing a regional agricultural research and production cluster in the Republic of Bashkortostan. *Economy: yesterday, today, tomorrow*. 2017. Vol. 7. No. 5A. Pp. 27–44. (In Russian)
2. Ashirova A.A. Some problems of succession in the reorganization of legal entities. *Actual problems of jurisprudence*. 2015. № 1–2 (45–46). Pp. 12–15. (In Russian)
3. Becher V.V. On the issue of peculiarities of financial and legal regulation of the activities of state institutions of science. *Legal culture and education*. 2015. № 3 (22). Pp. 114–119. (In Russian)
4. Volchik V.V., Savko P.O., Maskaev A.I. Complementarity of institutional and organizational changes in the context of the reorganization of universities. *Institutional Analysis of Education*. 2018. Vol. 10. No. 4. Pp. 156–172. DOI: 10.17835 / 2076-6297.2018.10.4.156-172. (In Russian)
5. Garkusha A.A., Nikitina E.D. On the project of creating the Federal State Scientific Institution "Federal Altai Research Center for Agrobiotechnologies". *Scientific support of grain production in the Altai Territory*. Digest of articles. FSBI Altai NIISH. Barnaul. 2016. Pp. 3–19. (In Russian)
6. Deryabina E.V., Bogdanova T.Yu. An integrated approach to solving the problems of labor rationing in state and municipal institutions of the Tomsk region. *Bulletin of the south Ural state university. Series: economics and management*. 2018. Vol. 12. No. 1. Pp. 51–57. (In Russian)
7. Koryttsev M.A. Reform of public institutions and the prospects for the formation of competitive structures in the field of vocational education. *Journal of Economic Regulation (Economy Regulation)*. 2010. Vol. 1, No. 1. Pp. 47–55. (In Russian)

8. Kostikova G.V. Affiliation as a form of reorganization of a legal entity: legislation novels. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2017. № 2. Pp. 76–82. (In Russian)
9. Lezina O.A. The role of enterprise restructuring in the modern economy. *Bulletin of science and practice*. 2016. № 3 (4). Pp. 89–98. (In Russian)
10. Neustroev S.S., Pudenko T.I., Chechel I.D., Potemkina T.V. Strategic development priorities of the Institute of Education Management of the Russian Academy of Sciences in the context of reforming the academic sector of science. Experience of strategizing. *Education Management: Theory and Practice*. 2015. No. 1 (17). Pp. 1–19. (In Russian)
11. Neustroev S.S., Pudenko T.I. The development strategy of a scientific organization under the conditions of reforming the academic sector of science. *Informatization of education and science*. 2015. № 3 (27). Pp. 3–17. (In Russian)
12. Mirosnikova E.P., Levonevskij D.K., Motienko A.I. Modules for import, export and data analytics in the electronic journal management system of the "SPIIRAS proceedings" journal for automating the interaction with global indices and aggregators. *Problems of artificial intelligence*. 2019. № 3 (14). Pp. 58–75. (In Russian)
13. Polilov A.N. Experience of interaction of the Institute of Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences with the technical universities of Moscow. *Mechanical Engineering and Engineering Education*. 2006. No. 1 (6). Pp. 64–73. (In Russian)
14. Polterovich V.M. Institutions of catching-up development (on the project of a new model for economic development of Russia). *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*. 2016. No. 5. Pp. 34–56. DOI: 10.15838/esc/2016.5.47.2. (In Russian)
15. Ronzhin A.L. Strategy of “Cold Start” of New Academic Laboratories. *Administrative Consulting*. 2019. № 5. Pp. 68–79. <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2019-5-68-79> (In Russian)
16. Ronzhin A.L., Zelezny M. Digitalization of Management Processes in Scientific and Educational Organizations. *Administrative Consulting*. 2018. No. 10. Pp. 109–117. <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2018-10-109-117> (In Russian)
17. Ulakov M.Z. Outstanding scientist, talented organizer of science, public and political figure (on the occasion of the 80th anniversary of Petr Matsoyich Ivanov). *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 2 (106). Pp. 5–10.
18. Inzelt A., Schubert A. Collaboration between researchers from academic and non-academic organisations. *Acta Oeconomica*. 2011. 61(4). Pp. 441–463.
19. Kim S., Jung D.-J. Ideology, nationalism, and education: the case of education reforms in the two Koreas. *Asia Pacific Education Review*. 2019. Vol. 20. No. 2. Pp. 295–304.
20. Kohtamäki V. Academic leadership and university reform-guided management changes in Finland. *Journal of Higher Education Policy and Management*. 2019. 41(1). Pp. 70–85.
21. Szabo C. Hungary: Academy needs more than internal reform. 2006. *Nature*. 442(7101). P. 353.

Information about the author

Ronzhin Andrey Leonidovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences;
199178, Russia, St. Petersburg, 39, 14th line of Vasilyevsky Island;
ronzhin@iias.spb.su, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8903-3508>

УДК: 94(47)

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-170-176

Из истории становления и развития финансовых институтов Кабардинского округа на рубеже 50–60-х гг. XIX в.

М. Х. Бербекова

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. В статье рассматриваются некоторые аспекты становления и развития финансовых институтов в Кабардинском округе на рубеже 50–60-х гг. XIX в. на примере деятельности Кабардинской общественной суммы. На основе анализа делопроизводственной документации управления Кабардинского округа исследованы вопросы функционирования аппарата Общественной суммы, его взаимодействия в пределах подведомственности с другими учреждениями и должными лицами, порядок делопроизводства, каналы пополнения и расходования капитала Суммы, круг лиц и социальный состав заемщиков. Выявлены сложности в деятельности Общественной суммы, связанные с переходом региона к системе военно-народного управления. Делается вывод, что в условиях перехода региона к военно-народному управлению ее функционал по сравнению с предыдущим периодом существенно расширился. Сумма постепенно трансформировалась в востребованный источник функционирования займов в отношении представителей местного населения.

Ключевые слова: Кабардинская общественная сумма, финансовый институт, Центр Кавказской линии, кабардинцы, балкарцы

Поступила 05.10.2022, одобрена после рецензирования 12.10.2022, принята к публикации 14.10.2022

Для цитирования. Бербекова М. Х. Из истории становления и развития финансовых институтов Кабардинского округа на рубеже 50–60-х гг. XIX в. // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 170–176. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-170-176

Original article

From the history of the formation and development of financial institutions of the Kabardian district at the turn of 50-60s of XIX century

M.Kh. Berbekova

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street

Annotation. The article considers some aspects of the formation and development of financial institutions in the Kabardian district at the turn of the 50-60s. XIX century. on the example of the activities of the Kabardian Public sum. Based on the analysis of the office documentation of the Kabardian district administration, the issues of the functioning of the Public sum apparatus, its interaction within the jurisdiction with other institutions and proper persons, the procedure for office work, the channel for replenishing and spending capital of the sum, the circle of persons and the social composition of borrowers were studied. Difficulties in the activities of the Public sum related to the transition of the region to the system of military-people's administration were revealed. It is concluded that in the context of the transition of the region to military-people management, its functionality has significantly expanded compared to the previous period. The sum gradually transformed into a demanded source of the functioning of loans in relation to representatives of the local population.

Key words: Kabardian public sum, financial institute, Caucasian line center, kabardians, balkars

Submitted 05.10.2022,

approved after reviewing 12.10.2022,

accepted for publication 14.10.2022

For citation. Berbekova M.Kh. From the history of the formation and development of financial institutions of the Kabardian district at the turn of 50-60s. of XIX century. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2022. No. 5(109). Pp. 170–176. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-170-176

ВВЕДЕНИЕ

В экономической истории Кабардинского округа на рубеже 50–60-х гг. XIX в. особое внимание отводилось деятельности финансовых институтов при учреждениях власти. Одним из таких учреждений была Кабардинская общественная сумма, представлявшая собой своеобразную народную кассу, из которой оказывались услуги по предоставлению займов населению и финансировались некоторые общественно значимые проекты (стипендиальное обеспечение обучавшихся за пределами округа уроженцев Кабарды и Балкарии, строительство и ремонт объектов социальной инфраструктуры и т.п.). Сумма стабильно функционировала более 80 лет, и в начале XX в. сложились предпосылки по ее преобразованию в народный банк. Поэтому исследование особенностей ее функционирования на рубеже 50–60-х гг. XIX в. в условиях, когда в регионе начался переход к военному народному управлению и проводилась реформа по образованию административных округов в составе Терской области, представляется актуальной научно-исследовательской задачей. Исследование темы дает возможность расширить представления о создании и деятельности финансовых институтов у традиционных обществ, ставших на путь модернизации, и некоторых особенностях складывания общественных сумм в современных финансовых реалиях.

Некоторые аспекты деятельности Общественной суммы в Кабардинском (Георгиевском, Пятигорском, Нальчикском) округе во второй половине XIX – начале XX в. затрагивались в работах Г. Баева [3], Т. Х. Кумыкова [5, 6], Ж. А. Калмыкова [4], А. Х. Абазова [1, 2], Д. Н. Прасолова [9, 11], И. С. Пазова [7, 8]. Авторы изучали исторические условия и обстоятельства формирования народного кредита в Терской области в 60-е гг. XIX в., вопросы вовлечения народов региона во всероссийский рынок в XIX в., взаимодействие казначей Суммы со Съездом доверенных Кабарды и Балкарии в деятельности институтов самоуправления во второй половине XIX – начале XX в. и т.п. При этом особенностям функционирования Кабардинской общественной суммы на рубеже 50–60-х гг. XIX в. в отечественном кавказоведении не уделялось должного внимания. Тогда как доступная эмпирическая база (в основном делопроизводственная документация управления Кабардинского округа, хранящаяся в фондах Управления центрального государственного архива Архивной службы КБР) по теме исследования позволяет ставить и решать такие задачи, как: выявление особенностей функционирования аппарата казначей общественной суммы, изучение порядка делопроизводства, в том числе и документирование движения денежных средств по Сумме, анализ каналов прихода и расхода средств Суммы и т.п.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Итак, в конце 50-х – начале 60-х гг. XIX в. учреждением, в структуре которого функционировала Кабардинская общественная сумма, было Кабардинское окружное правление. Все поступления денежных средств в Сумму санкционировались предписанием начальника округа [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31]. Должностным лицом, ответственным за организацию деятельности Суммы, был казначей. При казначее функционировала канцелярия [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 3]. Казначей и работники канцелярии получали регулярное жалование за отправление возложенных на них полномочий из средств

Суммы [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 12]. Казначей напрямую подчинялся начальнику округа, состоял с ним в переписке по вопросам учета прихода и расхода общественной суммы, вел учет жителей округа, которым выданы займы из Суммы, вел книги прихода и расхода средств Суммы, книги учета и движения полученного залога и т.п.

После принятия Положения «Об управлении общественной суммой» (1859) в управлении округа началась активная работа по упорядочению ее деятельности и переучету средств, двигавшихся по Сумме до 1858 г. В этом направлении управление Кабардинского округа состояло в переписке сначала с начальством левого крыла Кавказской линии, а после 1860 г. – с Терским областным правлением и другими структурами, ответственными за контроль финансовых операций в регионе. Одним из первых распоряжений начальника Кабардинского округа в адрес казначея Общественной суммы Терехова было предписание о записи в книгу прихода, обеспеченного ломбардными билетами на сумму 16 089 руб. [УЦГА АС КБР: Ф. И-26. Оп. 1. Д. 5. Л. 21]. Анализ ведомостей по ломбардным билетам и вытребованным из них по кредитным установлениям деньгам показывает, что в этой части Сумма состояла в деловых отношениях с Московской сохранной казной, Санкт-Петербургской сохранной казной, Закавказским приказом общественного призрения и некоторыми другими учреждениями [УЦГА АС КБР: Ф. И-26. Оп. 1. Д. 5. Л. 27–27 об.].

Анализ ведомостей должников Кабардинской общественной суммы по состоянию на 1860 г. позволяет говорить о том, что ранее (до 1857 г.) деньги займы населению региона выдавались на основании распоряжения начальника Центра Кавказской линии. Эти материалы также дают возможность установить круг лиц и социальный состав заемщиков. Например, содержание ведомостей по выданным займам бывшим начальником Центра Кавказской линии местному населению из Общественной суммы, на которых предполагалось возложить обязанность по уплате процентов за пользование займом, показывает, что в числе заемщиков состояли: штаб-ротмистр князь Иналов, поручик И. Кунашев, прапорщик Кучмазукин, штаб-ротмистр князь Тлостанлиев, штаб-ротмистр А. Тохтамышев, прапорщик князь Б.-М. Касаев, эфенди Шугенов, член суда прапорщик П. Касаев, подпоручик З. Тамбиев, прапорщик Д. Джамботов, прапорщик Аджигиреев, корнет Б. Конов, прапорщик И. Урусбиев, подпоручик Салпагаров, прапорщик Тапсиев, прапорщик Хаудов, поручик А. Анзоров, капитан князь М. Казиев, поручик Туков, сын карачаевского эфенди М. Алиев, майор Абисалов, штаб-ротмистр Дударов, майор Анзоров, юнкер князь Б.-М. Наурузов, князь М. Наурузов, секретарь Кабардинского суда Шарданов, а также прогонные деньги генерал-майор князь Атажукин, П. Тамбиев [УЦГА АС КБР: Ф. И-26. Оп. 1. Д. 5. Л. 70 об – 72 об.] и др.

После принятия Положения (1859) в окружном правлении начала практиковаться новая форма фиксирования движения денежных средств. Книга регистрации прихода и расхода капитала Суммы открывалась на основании предписания начальника Кабардинского округа [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 1 об.]. Факт открытия новой книги заверялся подписями воинского начальника. Он же вместе с казначеем фиксировал и сумму остатка, подлежавшего записи в новую книгу [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 1 об.]. Например, в книге на 1859 г. отмечалось: «Записанные на приход деньги, перенесенные из законченной на 1859 г. книги оставшегося наличного остатка Кабардинской общественной суммы, всего кредитными бумагами четыре тысячи семьсот шестьдесят четыре рубля, а серебром две с половиной копейки» [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 1 об.]. Ответственным за ведение учетных записей был казначей суммы. Факты получения средств из суммы либо возвращения средств скреплялись подписями или печатями непосредственных участников финансовых отношений [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 3].

В конце 50-х – начале 60-х гг. XIX в. каналами пополнения Общественной суммы были: уплата процентных денег по ранее выданным займам [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 1 об.], возврат заемной суммы, средства (пошлины) за вывоз леса из Кабарды за пределы Кавказской линии для продажи [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 7 об.],

взысканные штрафы за правонарушения с жителей Большой и Малой Кабарды и Балкарии [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 8 об.], возврат долгов по непогашенным вовремя займам и т.п. Например, всего в 1860 г. за погашение долгов населения без учета процентов в доход Общественной суммы поступило 2880 руб. 2 коп., штрафов за совершенные правонарушения – 1633 руб. 7 коп., за вывоз леса для продажи за пределы Линии – 1330 руб. 5 коп., за уплату долгов и процентов по заимствованным из суммы денег до 1859 г. – 7550 руб., процентов от выданных займов – 505 руб. 80 коп. [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 47 об.]. В конце 50-х гг. XIX в. расходными статьями были: средства на содержание канцелярии отделения Общественной суммы [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 3], средства на найм квартиры инспектору кабардинской школы [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 4], на найм квартиры и выплату жалования учителю русского языка и найм квартиры учителю арабского языка этой школы [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 4], на содержание воспитанников кабардинской школы (приобретение одежды и обуви, учебных предметов, питание, отопление помещений, ремонт здания школы и т.п.) [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 18], оплату труда вольнонаемного писаря [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 5], оплату билетных бланков [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 11], на содержание казначей Общественной суммы [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 12], выдачу займов населению [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 15], (временно) на имущество и скот, взятые под залог выданных займов (кредитов) [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 21], продажи с аукциона имущества и животных, поступивших на баланс Общественной суммы в виде штрафов за правонарушения [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 8 об.] и т.п. Общая сумма расходов составила 11 830 руб. 75 1/3 коп. Следует обратить внимание, что в некоторых случаях разрешение на производство тех или иных новых систематических выплат поступало от высшего начальства в регионе. В частности, разрешение на назначение ежемесячной выплаты учителю русского языка кабардинской школы было одобрено в 1858 г. главнокомандующим Кавказской армией [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 47. Л. 39]. Другое одобрение главнокомандующего Кавказской армией последовало 14 января 1859 г. на производство расходов «на обучение в Екатеринограде кабардинского узденя Ахмета Кумыкова оспопрививанию» [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 53. Л. 4]. Случалось и обсуждение непредвиденных трат из общественной суммы, например, в 1858 г. в отзыве начальника Главного штаба Кавказской армии сообщалось о займе из Общественной суммы денег на выкуп похищенных преступниками жителей Кабарды с последующим возмещением трат за счет средств, собранных с преступников в виде штрафов [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 53. Л. 5].

Анализ документов показывает, что в 1859 г. Малая Кабарда в финансовом отношении была интегрирована с Кабардинской общественной суммой, а управляющий Малой Кабарды состоял в тесной переписке с начальником Кабардинского округа по вопросам расходования средств Общественной суммы [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 53. Л. 42].

Остаток средств в Кабардинской общественной сумме по состоянию на 1 января 1861 г. составил 6 834 р. 75 коп. [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 31. Л. 48]. Чистая прибыль от ее деятельности в 1860 г. составила 2 070 руб. 55 коп., основной капитал увеличился за год примерно на 30 %. В 1861 г. перечень приходных и расходных статей Суммы практически не претерпел изменений по сравнению с предыдущим годом [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 64].

Отдельным учетным документом Кабардинской общественной суммы была книга регистрации прихода и расхода залогов [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 32]. В конце 50-х – начале 60-х гг. XIX в. ведение, открытие новой книги, закрытие старой, перенос сведений из новой в старую, внесение сведений о новых действиях санкционировались предписанием начальника Кабардинского округа. Ответственным за ведение книги был казначей Общественной суммы, книга хранилась в канцелярии отделения Общественной суммы.

Следует отметить, что в 1859 г. Главным штабом Кавказской армии была проведена проверка правильности расходов Кабардинской общественной суммы, результаты которой были представлены в отзыве Главнокомандующему войсками левого крыла Кавказской линии 15 апреля 1859 г. [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 53. Л. 72]. Проверка была произведена на основании анализа содержания объяснений начальника Кабардинского округа с целью выработки рекомендаций по пресечению в будущем выплат, «которые должны быть признаны лишними и произвольными, и для определения, какие именно расходы может производить начальник округа [из Общественной суммы]» [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 53. Л. 72]. Проверка выявила неправильными выплаты, произведенные по предписанию начальника округа, в отношении кабардинского народного депутата (судьи кабардинского временного суда) и двух состоящих при экзекуторах делопроизводителей на канцелярские расходы и на жалование секретаря временного суда и двух писарей [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 53. Л. 72 об.]. Обращалось внимание, что эти выплаты были произведены уже после образования Кабардинского округа в 1858 г. Отмечалось, что они являются нелегитимными, т.к. «содержание управления Нальчикского округа вошло в штат, Высочайше утвержденный 1 апреля 1858 г., в который внесены суммы и на канцелярские расходы, и на содержание секретаря и писарей» [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 53. Л. 72 об.]. Схожее заключение было принято и в отношении расходов на содержание 8 милиционеров, состоявших при офицерах Кабардинского временного суда [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 53. Л. 73 об.]. Кроме того, предлагалось не выписывать отдельной расходной суммой средства, выданные инспектору и учителю русского языка Кабардинской общественной школы, а предусматривать расходы по этим частям из общей суммы, ассигнованной на содержание школы [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 53. Л. 73]. Также определенные возражения со стороны проверяющих последовали и в отношении расходов на печать билетных бланков для проезда жителей региона за пределы Кавказской линии (в основном для продажи леса). В этом отношении сообщалось, что в других регионах этот расход возмещался за счет средств экстраординарной суммы, в связи с чем предлагалось освободить Кабардинскую общественную сумму от ассигнования средств на печать билетных бланков [УЦГА АС КБР: Ф. И-2. Оп. 1. Д. 53. Л. 73 об.]. Получается, что основные контрольные функции по деятельности Суммы на рубеже 50–60-х гг. XIX в. выполняло управление Терской области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, Кабардинская общественная сумма занимала важное место в аппарате управления Кабардинского округа на рубеже 50–60-х гг. XIX в. В условиях перехода региона к военно-народному управлению ее функционал по сравнению с предыдущим периодом существенно расширился. Сумма постепенно трансформировалась в востребованный источник функционирования займов в отношении представителей местного населения. Находясь в структуре окружного правления, казначей Суммы в пределах своей подведомственности взаимодействовал с профильными учреждениями из других регионов. В это время в функционировании Общественной суммы были задействованы и жители Малой Кабарды, территориально относившейся в то время к Осетинскому округу Терской области. Анализ документов показывает, что заемщиками (т.е. первыми потребителями услуг по обеспечению населения займами) были представители социальной элиты общества. Сумма пополнялась за счет уплаты процентов должниками, возврата заемной суммы, пошлин, штрафов, возвратов долгов по непогашенным вовремя займам и т.п. Средства суммы расходовались на содержание канцелярии, найм жилых помещений для отдельных категорий работников (учителей), содержание воспитанников школы, оплату труда казначей и делопроизводителей, канцелярские расходы и расходы на обеспечение деятельности Суммы, непосредственно на выдачу займов населению, продажи с аукциона имущества и животных, поступивших в виде штрафов за правонарушения, и т.п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абазов А. Х.* Нальчикский округ в судебной системе Терской области (последняя треть XIX – начало XX в.). Нальчик: Издательский отдел КБИГИ, 2014. 104 с.
2. *Абазов А. Х.* Народы Центрального Кавказа в судебной системе Российской империи в конце XVIII – начале XX в. Нальчик: Печатный двор, 2016. 264 с.
3. *Баев Г. В.* Народный кредит в Терской области. Владикавказ: Типография Сергея Назарова, 1908. 56 с.
4. *Калмыков Ж. А.* Установление русской администрации в Кабарде и Балкарии (конец XVIII – начало XX в.). Нальчик: Эльбрус, 1995. 123 с.
5. *Кумыков Т. Х.* Вовлечение Северного Кавказа во всероссийский рынок в XIX в. Нальчик: Кабардино-Балкарское книжное издательство, 1962. 200 с.
6. *Кумыков Т. Х.* Экономическое и культурное развитие Кабарды и Балкарии в XIX веке. Нальчик: Кабардино-Балкарское книжное издательство, 1965. 418 с.
7. *Пазов И. С.* Финансы и экономика Нальчикского округа в начале XX века (1905–1917 гг.) // Электронный журнал «Кавказология». 2018. № 4. С. 42–64.
8. *Пазов И. С.* Общественный капитал Нальчикского округа в начале XX века // Современные исследования социальных проблем. 2019. Т. 11. С. 170–190.
9. *Прасолов Д. Н.* Съезды доверенных в практиках местного самоуправления кабардинцев и балкарцев во второй половине XIX – начале XX в. Нальчик: Издательский отдел ИГИ КБНЦ РАН, 2019. 208 с.
10. *Прасолов Д. Н.* Просветительские практики и интеллектуальная культура коренного населения Северного Кавказа в условиях имперской модернизации (школьный вопрос на съездах доверенных Нальчикского округа в последней трети XIX – начале XX в.) // Электронный журнал «Кавказология». 2019. № 2. С. 37–54.
11. *Прасолов Д. Н.* «Вся Кабарда встретит этот акт с чувством великого нравственного удовлетворения...». Статья Г. Баева «О присоединении Малой Кабарды к Большой» // Электронный журнал «Кавказология». 2021. № 4. С. 86–107.
12. УЦГА АС КБР – Управление Центрального государственного архива Архивной службы Кабардино-Балкарской Республики.

Информация об авторе

Бербекова Марина Хасанбиевна, аспирант Научно-образовательного центра Кабардино-Балкарского научного центра РАН;
360010, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2;
Yucatan_line@mail.ru

REFERENCES

1. Abazov A.Kh. *Nal'chikskiy okrug v sudebnoy sisteme Terskoy oblasti (poslednyaya tret' XIX – nachalo XX v.)* [Nalchik district in the judicial system of the Terek region (the last third of the XIX – the beginning of the XX century)]. Nal'chik: Pechatnyy dvor, 2014. 104 p. (In Russian)
2. Abazov A.Kh. *Narody Tsentral'nogo Kavkaza v sudebnoy sisteme Rossiyskoy imperii v kontse XVIII – nachale XX v.* [The peoples of the Central Caucasus in the judicial system of the Russian Empire in the late XVIII - early XX centuries.]. Nal'chik, Izdatel'skiy otdel KBIGI, 2016. 264 p. (In Russian)
3. Baev G.V. *Narodnyy kredit v Terskoy oblasti* [People's credit in the Terek region.]. Vladikavkaz: Tipografiya Sergeya Nazarova, 1908. 56 p. (In Russian)

4. Kalmykov Zh.A. *Ustanovlenie russkoy administratsii v Kabarde i Balkarii (konets XVIII – nachalo XX v.)* [The establishment of the Russian administration in Kabarda and Balkaria (late XVIII - early XX centuries)]. Nal'chik: El'brus, 1995. 123 p. (In Russian)
5. Kумыков Т.Кх. *Vovlechenie Severnogo Kavkaza vo vserossiyskiy rynek v XIX v.* [Involvement of the North Caucasus in the All-Russian market in the XIX century]. Nal'chik: Kabardino-Balkarskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1962. 200 p. (In Russian)
6. Kумыков Т.Кх. *Ekonomicheskoe i kul'turnoe razvitie Kabardy i Balkarii v XIX veke* [Economic and cultural development of Kabarda and Balkaria in the 19th century.]. Nal'chik: Kabardino-Balkarskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1965. 418 p. (In Russian)
7. Pazov I.S. Finance and economics of the Nalchik district at the beginning of the 20th century (1905-1917). *Elektronnyy zhurnal «Kavkazologiya»* [E-journal «Caucasology»]. 2018. No. 4. Pp. 42–64. (In Russian)
8. Pazov I.S. Public capital of the Nalchik district at the beginning of the 20th century. *Sovremennye issledovaniya sotsial'nykh problem*. 2019. Vol. 11. Pp. 170–190. (In Russian)
9. Prasolov D.N. *S"ezdy doverennykh v praktikakh mestnogo samoupravleniya kabardintsev i balkartsev vo vtoroy polovine XIX – nachale XX v.* [Congresses of entrusted persons in local self-government practices of Kabardins and Balkars in the second half of the XIX – early XX centuries.]. Nal'chik: Izdatel'skiy otdel IGI KBNTs RAN, 2019. 208 p. (In Russian)
10. Prasolov D.N. Educational practices and intellectual culture of the indigenous population of the North Caucasus in the conditions of imperial modernization (school issue at the congresses of trusted Nalchik district in the last third of the XIX – early XX centuries). *Elektronnyy zhurnal «Kavkazologiya»* [E-journal «Caucasology»]. 2019. No. 2. Pp. 37–54. (In Russian)
11. Prasolov D.N. «The whole Cabarda will meet this act with a sense of great moral satisfaction...» Article by G. Baev «On the accession of Malaya Kabarda to Bolshaya». *Elektronnyy zhurnal «Kavkazologiya»* [E-journal «Caucasology»]. 2021. No. 4. Pp. 86–107. (In Russian)
12. UTsGA AS KBR – *Upravlenie Tsentral'nogo gosudarstvennogo arkhiva Arkhivnoy sluzhby Kabardino-Balkarskoy Respubliki* [Office of the Central State Archive of the Archive Service of the Kabardino-Balkarian Republic]. (In Russian)

Information about the author

Berbekova Marina Khasanbievna, postgraduate student of the Scientific and Educational Center, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;
Yucatan_line@mail.ru

УДК: 93/99(093.2.64)

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-177-187

Документы к истории становления института аманатства в политике России на Кавказе в XVIII в.

З. Ж. Глашева

Институт гуманитарных исследований –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН
360000, Россия, Нальчик, ул. Пушкина, 18

Аннотация. В статье представлены документы из центральных архивов РГАДА и РГВИА, содержащие информацию по истории института аманатства на Кавказе в XVIII в. Данный институт с момента зарождения и на протяжении длительного времени был одним из элементов русско-кавказских отношений. В них институт аманатства выполнял функцию регулятора социально-политических отношений между Российской империей и кавказскими народами. Его функционирование было связано со сложным характером русско-кавказских отношений. С середины XVIII в. Россия активизировала свою политику в кавказском направлении, в ходе которой использовала институт аманатства. Документы содержат пофамильный список аманатов за 1735, 1782, 1785 гг., из которых видно, из каких народов они брались, где содержались. Дальнейшее выявление и исследование материалов в центральных архивах, касающихся института аманатства, позволит нам более детально изучить пофамильный состав, из каких народов они брались, сколько лет находились в аманатах, проследить их жизненный путь и т.д. Исследование данного института представляется вполне перспективным направлением в отечественной науке.

Ключевые слова: Кавказ, Российская империя, Большая Кабарда, Малая Кабарда, Чечня, Кумыкия, институт аманатства

Поступила 01.10.2022, одобрена после рецензирования 10.10.2022, принята к публикации 14.10.2022

Для цитирования. Глашева З. Ж. Документы к истории становления института аманатства в политике России на Кавказе в XVIII в. // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 177–187. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-177-187

Original article

Documents on the history of the formation of the institution of amanatism in Russian politics in the Caucasus in the XVIII century

Z.Zh. Glasheva

Institute of Humanitarian Researches –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360000, Russia, Nalchik, 18 Pushkin street

Annotation. The article presents documents from the central archives of the RGADA and RGVIA, containing information on the history of the institution of amanatism in the Caucasus in the XVIII century. This institution has been one of the elements of Russian-Caucasian relations since its inception and for a long time. In those documents, the institution of amanatism served as a regulator of socio-political relations between the Russian state and the Caucasian peoples. Its functioning was connected

with the complex nature of Russian-Caucasian relations. Since the middle of the XVIII century, Russia has intensified its political efforts in the Caucasus direction, during which it used the institution of amanatism. The documents contain a family list of amanats for 1735, 1782, 1785. from which it is clear from what peoples they were taken, where they were kept. Further identification and research of materials related to the institution of amanatism in the central archives will allow us to study in more detail the family composition, from which peoples they were taken, how many years they were in the amanat state, trace their way of life, etc. The research of this institution seems to be quite a promising direction in domestic science.

Key words: Caucasus, Russian Empire, Greater Kabarda, Lesser Kabarda, Chechnya, Kumykia, institute of amanatism

Submitted 01.10.2022,

approved after reviewing 10.10.2022,

accepted for publication 14.10.2022

For citation. Glasheva Z.Zh. Documents on the history of the formation of the institution of amanatism in Russian politics in the Caucasus in the XVIII century. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 5(109). Pp. 177–187. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-177-187

Статья посвящена изучению института аманатства и его отражению на развитии русско-кавказских отношений в XVIII в. Эта проблема требует тщательного, всестороннего, глубокого анализа и научного обобщения многочисленных архивных источников по данному вопросу, сосредоточенных во многих архивохранилищах и не введенных до сих пор в научный оборот.

Аманатство как инструмент политического влияния Российской империи на Кавказе прошел долгий путь в своем развитии, начало которого совпадает с периодом установления тесных отношений между Российским государством и кавказскими народами. Начальный период связан со второй половиной XVI – первой половиной XVII в. Он характеризуется отсутствием четко выраженных элементов принуждения. Вначале это были эпизодические контакты того или иного народа с российскими властями, связанные с взаимовыгодными отношениями. Подобная практика российскими властями применялась во взаимоотношениях с народами, населявшими окраины государства либо вступавшими в подданство России. Как правило, выдаче аманатов предшествовали дипломатические переговоры с целью установления политических отношений. Опыт взаимоотношений России с соседними народами свидетельствовал, что не всегда можно было положиться на принесенные клятвы и даже подписанные грамоты, поэтому выдача аманатов рассматривалась российскими властями как наиболее надежная гарантия соблюдения достигнутых договоренностей. Ярким примером приверженности данному принципу является последовательная политика астраханских, терских, кизлярских комендантов, требовавших в ходе переговоров обязательной выдачи аманатов.

Выдача аманатов являлась символическим актом, свидетельствовавшим о признании народом власти российского царя. В качестве аманатов выступали близкие родственники (сыновья, братья, племянники) социально значимых людей народа, с которым Россией устанавливались политические отношения. По этой причине аманаты воспринимались не просто как заложники, а в большей степени как полномочные представители инородной аристократии. Это обязывало российские власти оказывать им знаки особого внимания [8, с. 59]. В инструкции коменданту Кизлярской крепости предписывалось при содержании аманатов «обходиться с ними осмотрительно, осторожно, справедливо, приветливо, с умеренной ласкою, но не раболепно» [8, с. 59]. Такое предполагаемое гу-

манное отношение не всегда выполнялось российской властью, взявшей на себя обязательство по аманатам. В 1778 г. в целях устрашения кабардинцев И.В. Якоби отдал распоряжение «всех находившихся в Кизляре кабардинцев посадить в острог и употреблять в тяжкие работы, взрослых же аманатов заковать в кандалы, чтоб чувствовали предерзость своих отцов» [5, с. 137], впоследствии они были отправлены в Астрахань и посажены в казематы.

Исторически так сложилось, что на Кавказе сталкивались интересы таких государств, как Османская империя, Сефевидский Иран, Российская империя, Франция и Великобритания. Российская империя, включившаяся в борьбу за обладание Кавказом позже, чем Иран и Турция, с конца XVIII в. начинает их вытеснять из региона, постепенно расширяя свое влияние. В период наиболее активного расширения границ Российского государства в южном направлении институт аманатства получил широкое применение. По мере усиления России и ослабления ее соперников российские власти стали требовать от горцев выдачи аманатов из наиболее уважаемых и знатных семей при подписании каждой присяги верности, которые приносились регулярно.

Институт аманатства широко использовался российскими властями в отношении горских народов, населявших окраины государства и принимавших подданство Российской империи. Усиление позиций Российской империи в политическом и социокультурном пространстве Кавказа привело к трансформации многих традиционных институтов, регулировавших социальную жизнь горских народов. С конца XVIII в. начинается процесс по созданию российских административных учреждений, влиявших на изменения в общественном укладе горских народов Кавказа. Помимо откровенного подкупа привилегированных сословий кавказских народов, российская власть прибегала к использованию традиционных институтов для внеполитического влияния на местные народы [3, с. 405]. Начиная с середины XVIII в. институт аманатства широко использовался российской администрацией в отношениях с элитами кавказских народов [6], принимая системный характер. Несмотря на выдачу аманатов и принесенные присяги, многие северокавказские владельцы продолжали осуществлять собственную внешнюю политику, игнорируя нахождение родственников в аманатах [8, с. 72], и продолжали борьбу за независимость. К последней четверти XVIII в. Россия имела длительный опыт отношений с дагестанцами, кабардинцами, ингушами, осетинами, чеченцами.

Практика выдачи аманатов из влиятельных кавказских княжеских, старшинских (дворянских) фамилий для сохранения верности России касалась всех народов, входивших в сферу геостратегических интересов России. Институт аманатства выполнял функции политического соглашения между Российским государством, с одной стороны, и горскими народами – с другой, аманаты выступали гарантами лояльности своих народов России. Он выполнял функции эффективного инструмента внутренней политики, использовался прежде всего в отношении «непокорных горцев» и как превентивная мера «в борьбе с изменой» [4, с. 89] уже считавшихся «покорными».

Аманаты из представителей горских народов в течение XVIII в. содержались в Астрахани, крепостях Терки, Святой Крест, Кизляр. Им для проживания отводились специальные помещения. В Кизляре для них был построен отдельный аманатский двор [1, с. 157]. Вместе с ними могли проживать их служители. Содержание аманатов и их служителей в местах пребывания Российское государство брало на свой счет. Число аманатов от каждого народа определялось индивидуально, исходя из конкретных политических условий [8, с. 60].

В XVIII в. правительство России переходит к политике более активного использования аманатов в целях пропаганды российского образа жизни [7]. Принимаются меры для их обучения и просвещения. Самым существенным ограничением в жизни аманата был запрет на свободу передвижения – они не имели права покидать без разрешения местных властей города и крепости, где их содержали. Надзор за аманатом в месте содержания возлагался обычно на местный гарнизон либо на полицию, которые выделяли специальный караул во главе с офицером. Иногда наблюдение за аманатами правительство поручало особо доверенным лицам [8, с. 62–63].

Аманатам выдавалось жалование, размер которого определялся социальным происхождением. Срок пребывания в аманатах формально считался один год, после истечения которого аманат подлежал освобождению, а его место занимал новый. Однако освобождения аманата к установленному сроку практически не происходило. Многие аманаты содержались годами, иногда и десятилетиями. Те же, кто после освобождения возвращались на родину, оставались настроенными пророссийски, фактически являясь проводниками иной культуры в местной среде [2, с. 195]. Таким путем с помощью аманатов власти решали еще и проблему формирования лояльной к российскому правительству прослойки общества среди местного населения. По мере продвижения России вглубь Кавказа аманатов становилось больше.

В течение длительного периода административно-политического освоения Кавказа российская администрация активно использовала институт аманатства, рассматривая аманатов не только как заложников, но и как проводников российской политики и культуры среди своих народов. Институт аманатства служил достаточно эффективным механизмом удержания кавказских народов в покорности. Исследуемый институт был явлением всероссийского масштаба, применявшимся как к северокавказским народам, так и к народам Закавказья, Сибири, Средней Азии и т.д. Он недостаточно изучен в современной российской историографии. Его изучение в широком историческом контексте как института, обеспечивающего выполнение политических соглашений, а также как эффективный способ подчинения и удержания покоренных народов в повиновении представляет большой научный интерес.

Представленные документы выявлены в Российском государственном архиве древних актов и Российском государственном военно-историческом архиве. Они содержат списки аманатов за 1735, 1782 и 1785 гг., а также информацию о специфике того, по каким принципам надо брать аманатов. Работа по дальнейшему выявлению и изучению материалов, относящихся к институту аманатства, хранящихся в центральных архивах, предполагает быть комплексной, что сделает ее настоящим достоянием для широкого круга ученых. Введение в научный оборот списков аманатов, у каких народов они были взяты, с какого года, какого возраста, сколько времени находились в аманатах, представляется вполне перспективным направлением в отечественной исторической науке. Таким образом, анализ архивных источников XVIII в. позволяет утверждать, что институт аманатства начал приобретать системный характер, нацеленный на долгосрочную перспективу. Он также отразился на русско-кавказских отношениях.

Представленные документы являются подлинниками. Особенности написания документов XVIII в. сохранены, за исключением твердого знака, который в конце слов опускается. Сохранена транскрипция имен собственных и географических названий. Документы также снабжены комментариями автора.

№ 1

1735 г. – Список аманатов, взятых у различных народов Кавказа за 1735 год.

	Кормовых на месяц	На вино
Из Чечни:		
Чеченского Али-Салтана Казбулатова брат Бамат Казбулатов. Давать ему по	12 руб.	
Айдемиров брат Бардыхан; ему по	4	
а с 1736 г., по	8	
а с 1737 г., по	12	120 коп.
Из Кумык:		
Аксайский, Али-Бека Салтан-Магмутова племянник Ахмет Хай Капланов; ему по	4	
когда будет 12-ти лет, по	12	240
Андреевские: Бамат-Гирея Чепалова сын Шелох Чепалов; ему по	4	
а когда будет 12-ти лет, по	12 руб.	240 коп.
Казан-Алыпova сын Кайбулат; ему по	12	
Главного андреевского ¹ владельца Айдемирова сын Бамат; ему по	12	240
(Сей за измену отца отослан в Астрахань. NB. Видно измена для крымского хана 1733 г.)		
Сын Ахмат-Хапа Ураасан; ему по	1	
Из Большой Кабарды:		
Баксанской парии: старшаго владельца Бамета Кургонина сын Дударука; ему	12	240
Узденских 6 сынов; каждому	4	120
Какшатавской партии: старшаго владельца Расламбека Кайтуки- на сын Асланука; ему	12	360
Отослан в Астрахань за измену отца		
Владельца Кайсына сын Шелох 6-ти лет; ему	4	
когда достигнет 12-ти лет	8	
15-ти	12	240
Владельца Татархана сын Коргоха; ему	8	
когда достигнет 15 лет	12	240
За измену отца отослан в Астрахань		
Знатнаго узденя куденетова племени младенец Шабаз-Гирей служителю его	96 коп. 60 коп.	
За измену дяди отослан в Астрахань		
Из Малой Кабарды:		
От владельческого рода таусултанова:		
Узденя Маната сын Тещаук; ему	3 руб.	60
Узденя Кегазы сын Палатук; ему	3	60
От владельческого рода килесханова:		
Владельца Адиль-Гирея дядьки Атала сын Кайбулат; ему	3	60
Узденя Алея Анзорова сын Мамет; ему	3	60

Опубл.: Бутков П.Г. Материалы для новой истории Кавказа с 1722 по 1803 г. СПб., 1869. Ч. I. С. 157–159.

№ 2

1782 г. Декабря 14. – Список аманатам, состоящим в ведомстве астраханского полка и Большой Кабарды аманатчикам их узденям, кормильцам и холопам сначала их прибыло и сколько из оных померло, где находятся и сколько налицо при Астрахане значит по именам по дням.

декабря 14 дня 1782 года

№	Звание	Где находятся
1.	Большой Кабарды баксанского владельца Мисоста Боматова сын Темир Булат Мисостов	Оной ис холопом в правление его высокопревосходительству
2.	При нем холоп Умар Батыров	господину генерал-порутчику и кавалеру Павлу Сергеевичу Потемкину
3.	Той же Кабарды, Бекмурзиной фамилии владельца Беаслана Хамурзина сын Саныма Биасланов	При Астрахани
4.	При нем мамка Асек Менбулатова	При Астрахани
5.	Муж ее Курман Уразбеев	В домовом отпуску
	Дети ее	
6.	Дочь Чан Курманова	При Астрахани
7.	Сын Жанбулат Уразбеев	При Астрахани
8.	Той же Кабарды Мисостовой фамилии владельца Кургока Карамурзина сын Джанбулат Кургокин	При Астрахани
9.	При нем мамка Жанет Кабардева	При Астрахани
10.	Сын ее Шенука Шухаметов	При Астрахани
11.	Той же Кабарды узденские дети узденя Довлетука Савалгериева сын Ебаздука Давлетмурзин	При Астрахани
12.	Узденя Джанцоха сын Али Джанцохов	При Астрахани
13.	Узденя Черая сын Хуски Чараев	Помер в прошлом 781 году июня 27 дня.
14.	Узденя Умара Докшукина сын Биаслан Умаров	При Астрахани
15.	Узденя Мусы Махайбшаева сын Джансох Мусин	При Астрахани
16.	Узденя Давлетмурзы Танбиева сын Додурука Танбиев	При Астрахани
17.	Узденя Хагунди Ачабова сын Росланбек Хагундиев	При Астрахани
18.	Узденя Салатгерия Кудинетова сын Манду Салатгериев	При Астрахани
19.	При нем мамка Сдинек Шebutанаева	В домовом отпуску
20.	При ней сын Лапыш Акашев	В домовом отпуску
21.	Узденя Алея Кудинетова сын Джамбулат Аксеев	При Астрахани
22.	При нем мамка Малек Чебокова	В домовом отпуску
23.	Владельца Канамата Биасланова уздень Згери Утаз-киев	В домовом отпуску
24.	Той же Кабарды Джамбулатова фамилии владельца Инчуки Кажикова сын Безорука кахсишд	При Астрахани
	При нем холопья:	
25.	Хасан Амирханов	В домовом отпуску
26.	Али Мухаметов	В домовом отпуску

27.	Узденья Дувая сын Темрюка Дуваев	Помер в прошлом 780 году марта в 15 день.
28.	Узденья Аджуки сын Шумава Докукин	При Астрахани
29.	Биаслана Умарова холоп Биригиреев	В домовом отпуску
30.	Мансура Сандгериева дядька Жука Аккешев	В домовом отпуску
31.	Джамбулата Аксеева дядька Смаил Саналов	В домовом отпуску
32.	Пшишебх Батыров	Вновь прибыл вместо отпущенного Умара Батырова, находится при Астрахани.
33.	Джамбулат Аккашев	Вновь прибыл вместо отпущенного Жукко Аккашева, находится при Астрахани.

Секретарь Михаил Горбунов [подпись].

РГАДА Ф. 23. Оп. 1. Д. 13. Ч. 3. Л. 73–74 об. Подлинник.

№ 3

1785 г. – Рапорт его светлости Высокоповелительному господину фельдмаршалу государственной военной коллегии президенту, командующему войсками в Таврии и южных губерниях расположенными и флотом, плавающим на Черном и Каспийском морях и кавалеру князь Григорию Александровичу Потемкину².

Рапорт³.

Из давних времен, положено с разных народов сопредельных, которые ныне уже подданы суть престолу Ея Императорскаго Величества, брать аманатов и брались оные без всякаго положения и случайно по обстоятельствам, и на убылые места ни когда новых истребовали самые однокажь обстоятельства доказали, что сия нужна. По расписанию о расходах из государственнаго казначейства присланному, ассигновано по прежним требованиям на содержание. Аманатов тысяча пятьдесят рублей, которых на настоящее число достанет, но ежели к лучшему удержание сих народов в верности, доколе привыкнуть оные прямо познавать законную власть. Взять аманатов сколько их быть должно: то весьма сеи суммы недостаточно. Я нахожу нужным, чтоб брать аманатов со всякой владельческой фамилии, по одному владельческому сыну и двух узденей. А с деревень, которые владельцам не повинуются брать по одному из старшинских детей. Содержание им прежде полагалось, на каждого владельца пятьдесят копеек в день на узденя двадцать пять копеек. Но мыслю и, до вато будет положить владелец двенадцать рублей в месяц узденям по пяти рублями.

РГВИА. Ф. 52. Оп. 1. Д. 366. Ч. 1. Л. 13. Подлинник.

№ 4

1785 г. – Проект положения сколько нужно иметь аманатов.

	Число людей		рублей
Большой Кабарды			
Владельческих	4	Каждому 12 в месяц а в год 144 всем сие	576
Узденей	8	Каждому 5 в месяц, в год 60 а всем	480

Малой Кабарды			
Владельческих	3	Каждому 12 в месяц, а в год 144 всем сие	432
Узденей	6	Каждому 5 в месяц, а год 60 а всем	360
Аксаевских			
Владельческих	3	Каждому 12 в месяц, а в год 144 всем	432
Узденей	4	Каждому 5 в месяц, а год 60 а всем	360
Андреевских			
Владельческих	3	Каждому 12 в месяц, а в год 144 всем сие	432
Узденей	4	Каждому 5 в месяц, а год 60 а всем	360
Чеченских			
Владельческих	2	Каждому 12 в месяц, а в год 144 всем сие	288
Узденей	2	Каждому 5 в месяц, а год 60 а всем	120
Асетинских ⁴			
Владельческих	6	Каждому 12 в месяц, а в год 144 всем сие	864
Узденей	6	Каждому 5 в месяц, а год 60 а всем	216
Старшинских			
Гребенчуковского	1	На месяц 5, на год	60
Атагинского	1	На месяц 5, на год	60
Аджиалского	1	На месяц 5, на год	60
Гихинского	1	На месяц 5, на год	60
Адинского	1	На месяц 5, на год	60
Шалинского	1	На месяц 5, на год	60
Малой Атаги	1	На месяц 5, на год	60
Алдинского	1	На месяц 5, на год	60
Ингушевских	5	На месяц каждому по 5 в год, 60 всем	300
Карабулицкого	1	На месяц 5, на год	60
Абазинских	3	На месяц каждому по 5 в год, 60 всем	180
Итого			5820

Генерал-поручик [подпись].

РГВИА. Ф. 52. Оп. 1. Д. 366. Ч. 1. Л. 14–14 об. Подлинник.

№ 5

1785 г. Мая 27. – Рапорт кизлярского коменданта Вешнякова о состоящих в его ведении аманатах к генерал-майору и кавалеру Николаю Степановичу Шемякину.

Высокородному и превосходительному господину генерал-майору и кавалеру Николаю Степановичу Шемякину.

От бригадира Кизлярского коменданта Вешнякова⁵.

Рапорт

О состоящих здесь во аманатах как кабардинских владельческих, так узденских и других горских народов детях, кто оне имяны: список при сем к Вашему Превосходительству подношу.

Бригадир Иван Вешняков.
В 27 день мая 1785-го года.

РГАДА Ф. 23. Оп. 1. Д. 28. Ч. 4. Л. 101. Подлинник.

№ 6

1785 г. – Список именной состоящим во аманатном дворе разных владеней аманатчикам, и которых они владеней значит под сим.

№	Звание
	Большой Кабарды
1.	Мисостовой фамилии владельца Коргоки Карамурзина сын Джанбулат. Коргокин у Его Высокопревосходительства господина генерал-поручика и разных орденов кавалера Павла Сергеевича Потемкина ⁶ .
2.	Бекмурзиной фамилии владельца Мисоста сын Ислам Мисостов.
	Узденьские дети
3.	Девлетуки Шабазгиреева сын Элбуздука Девлетукин.
4.	Умара Докшукина сын Беаслан Умаров.
6.	Девлет-Мурзы Танбиева сын Додорука Девлет-Мурзин
5.	Мусы Махметшаева сын Джанцох Мусин.
7.	Айсе Куденетова сын Джалунбей Айсеев.
8.	Джанцоха сын Али Джанцохов.
9.	Андреевского владельца Темира Хамзина внук Уцмий Казбулатов.
	Малой Кабарды
10.	Владельца Келемета Ахлова сын Ахлов Келеметев.
11.	Узденьской сын Джинал Созорукин.
12.	Гихинской деревни Кантемир Арсланов.
13.	Осетинской старшинской сын деревни Джараковой Авар Алхасов.
14.	Карабудацкой деревни Цырка Дастанов.
15.	Гребенчуковской Гонойлиной фамилии Килягай Ногай-Мурзин.
16.	Шаванцевой фамилии уздень Казакшука Магометов.
	Большой Чечни
17.	Гунаевой фамилии Упа Исаев.
18.	Атагинской Нелаевой фамилии Мурзабек Алькоба.
19.	Алдинской Кукоевой фамилии Саракай Киштаев.
20.	Адзиаульской Есень-Мурза Биетов.
21.	Узденьский сын Нарпи Ногаев.

Бригадир Иван Вешняков.

РГАДА Ф. 23. Оп. 1. Д. 28. Ч. 4. Л. 102–102 об. Подлинник.

¹ Приписано, вернее костековское.

² Потемкин Григорий Александрович (1739–1791) – князь, фельдмаршал, президент Военной коллегии, командующий войсками в Таврии и южных губерниях, генерал-губернатор Астраханский, Азовский и Новороссийский (1776–1791).

³ Из документа неясно, кто является автором рапорта. Но он свидетельствует о том, что политика России в последней четверти XVIII в. проходила через личную канцелярию Г. А. Потемкина.

⁴ Правильно – Осетинский.

⁵ Вешняков Иван Ильич (ок. 1771 – между 1830 или 1837) – бригадир, Кизлярский комендант с 1783-го по 1786 г.

⁶ Потемкин Павел Сергеевич (1743–1796) – генерал-поручик, с осени 1782 г. командующий русской армией на Кавказе. В 1784 г. назначен генерал-губернатором Саратовского наместничества (занимал должность до 1787 г.). С 1785 г. генерал-губернатор Кавказского наместничества одновременно с Саратовским наместничеством (занимал должность до 1792 г.). В 1787 г. после объявления манифеста о войне с Оттоманской Портой (русско-турецкая война 1787–1791 гг.) П. С. Потемкин оставил Кавказ и отправился в главную армию под командованием князя Г. А. Потемкина-Таврического под Очаков, поручив военные дела края генерал-поручику П. А. Текеллию, гражданское управление Кавказской губернией передано было правителю Кавказского наместничества статскому советнику Л.С. Алексею с тем, чтобы он по всем важным делам обращался непосредственно к П. С. Потемкину в главную армию. Отличился при взятии крепостей Очаков и Измаил. В 1788 г. П. С. Потемкин, занятый военными делами, сложил с себя полномочия Саратовского генерал-губернатора, но Кавказская губерния оставалась под его ведением до 1791 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутков П. Г. Материалы для новой истории Кавказа с 1722 по 1803 г. СПб., 1869. Ч. II. 601 с.
2. Кокиев Г. А. Методы колониальной политики царской России на Северном Кавказе в XVIII в. // Известия ЮОНИИ. Сталинир, 1933. Вып. I. С. 192–200.
3. Кязимова С. М. Роль института аманатства в кавказской политике России (XVIII – первая треть XIX в.) // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. С. 405.
4. Муратова Е. Г., Батуева Э. А. Институт аманатства в политике России на Центральном Кавказе в первой половине XIX в. // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. Тамбов: Грамота. 2016. № 7(69). Ч. 1. С. 89–92.
5. Потто В. А. Два века Терского казачества (1577–1801). Владикавказ: Электротпечатня Типографии Терского Областного Правления, 1912. Т. II. 247 с.
6. РГВИА. Ф. 52. Оп. 1. Д. 286. Л. 13–16.
7. РГВИА. Ф. 52. Оп. 1. Д. 366. Ч. 1. Л. 13.
8. Торопицын И. В. Институт аманатства во внутренней и внешней политике России в XVII–XVIII вв. // Кавказский сборник. 2007. Т. 4 (36). С. 59–80.

Информация об авторе

Глашева Зулейха Жамботовна, канд. ист. наук, науч. сотр., Институт гуманитарных исследований – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;
360000, Россия, Нальчик, ул. Пушкина, 18;
zu-20.80@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2484-2398>

REFERENCES

1. Butkov P.G. *Materialy dlya novoj istorii Kavkaza s 1722 po 1803 g.* [Materials for the new history of the Caucasus from 1722 to 1803]. St. Petersburg, 1869. Part II. 601 p. (In Russian)
2. Kokiev G.A. Methods of the colonial policy of tsarist Russia in the North Caucasus in the 18th century. *Izvestiya YUONII* [Proceedings of YuONII]. Stalinir, 1933. No. 1. Pp. 192–200. (In Russian)
3. Kazimova S.M. The role of the institution of amanatism in the Caucasian policy of Russia (XVIII - the first third of the XIX century). *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2014. No. 1. P. 405. (In Russian)
4. Muratova E.G., Batueva E.A. The institute of amanatism in Russian policy in the Central Caucasus in the first half of the 19th century. *Istoricheskie, filosofskie, politicheskie i yuridicheskie nauki, kul'turologiya i iskusstvovedenie. Voprosy teorii i praktiki* [Historical, philosophical, political and legal sciences, cultural studies and art history. Questions of theory and practice]. Tambov: Gramota. 2016. No. 7(69). Part 1. Pp. 89–92. (In Russian)
5. Potto V. A. *Dva veka Terskogo kazachestva (1577–1801)* [Two centuries of the Terek Cossacks (1577–1801)]. Vladikavkaz: Electroprinting of the Printing House of the Terek Regional Board, 1912. Vol. II. 247 p. (In Russian)
6. RGVIA. F. 52. Op. 1. D. 286. L. 13–16.

7. RGVIA. F. 52. Op. 1. D. 366. Part 1. L. 13.

8. Toropitsyn I.V. Institute of amanatism in the domestic and foreign policy of Russia in the XVII-XVIII centuries. *Kavkazskij sbornik* [Caucasian collection]. 2007. Vol. 4 (36). Pp. 59–80. (In Russian)

Information about the author

Glasheva Zuleikha Zhambotovna, Candidate of Historical Sciences, Researcher, Institute for Humanitarian Researches – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center" Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 18 Pushkin street;

zu-20.80@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2484-2398>

**Общественные мирские подати сельского населения
Нальчикского округа в последней трети XIX – начале XX в.:
механизм назначения, порядок взимания и учета**

Ф. А. Кярова

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Статья посвящена исследованию механизма назначения, порядка учета и взимания общественных мирских податей сельского населения Нальчикского округа в последней трети XIX – начале XX в. Отмечается, что решения о размерах податей и статьях финансирования деятельности некоторых должностных лиц и общественно значимых проектов принимались на заседаниях Съезда доверенных, а после утверждения его постановлений в Терском областном правлении они становились обязательными для исполнения жителями округа. Рассмотрены направления финансирования, на которые взимались подати. Установлено, что с течением времени в деятельности Съездов доверенных наметилась тенденция к увеличению количества расходных статей за счет общественных средств по этой части. Сделан вывод, что размер денежной повинности в участках Нальчикского округа был неодинаковым и зависел от численности финансируемых должностных лиц и объектов.

Ключевые слова: Нальчикский округ, Терская область, Съезд доверенных сельских обществ, кабардинцы, балкарцы, налоги, мирские повинности, земские подати

Поступила 04.10.2022, одобрена после рецензирования 11.10.2022, принята к публикации 14.10.2022

Для цитирования. Кярова Ф. А. Общественные мирские подати сельского населения Нальчикского округа в последней трети XIX – начале XX в.: механизм назначения, порядок взимания и учета // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 188–195. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-188-195

Original article

**The public taxes of the rural population
of Nalchik district in the last third of the XIX - early XX century:
appointment mechanism, accounting and collection procedure**

F.A. Kyarova

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street

Annotation. The article is devoted to the study of the mechanism of appointment, procedure for accounting and collection of public taxes of the rural population of the Nalchik district in the last third of the XIX – early XX centuries. It is noted that that decisions on the amount of taxes and articles of financing for the activities of some officials and socially significant projects were made at meetings of the Congress of Trusted Persons, and after the approval of its decree in the Terek Regional Board, they became mandatory. The funding items for which taxes were charged were considered. It was established that over time, in the activities of Congresses of Trusted Persons, there was a tendency to increase the number of expenditure items at the expense of public funds in this part. It was concluded that the amount of monetary load in the sections of the Nalchik district was not the same and depended on the circle of financed officials and facilities.

Key words: Nalchik district, Terek region, Congress of Trusted of rural societies, Kabardins, Balkars, taxes, worldly duties, zemstvo taxes

Submitted 04.10.2022,

approved after reviewing 11.10.2022,

accepted for publication 14.10.2022

For citation. Kyarova F.A. The public taxes of the rural population of Nalchik district in the last third of the XIX – early XX century: appointment mechanism, accounting and collection procedure. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 5(109). Pp. 188–195. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-188-195

ВВЕДЕНИЕ

В последней трети XIX – начале XX в. в структуре мирских повинностей, взимаемых с представителей сельского населения Нальчикского округа, выделялись государственная и различные земские и общественные денежные подати. Причем некоторые из них направлялись на финансирование общественно значимых проектов и устанавливались населением округа самостоятельно путем принятия соответствующих решений на заседаниях Съезда доверенных сельских обществ Большой и Малой Кабарды и Пяти горских обществ (далее – Съезд доверенных) и утверждения начальником Терской области. Их изучение представляет собой важную исследовательскую задачу, т.к. дает возможность глубже понять особенности интеграции кабардинского и балкарского населения в экономическую систему Российской империи, установления в регионе многоуровневой системы налогообложения, механизмов сбора с населения и учета налогов и денежных повинностей, социальных эффектов от перераспределения потоков движения взимаемых средств и т.п.

Особенности взимания общественных мирских податей с населения Нальчикского округа в последней трети XIX – начале XX в. не становились предметом специального исследования. Тогда как некоторые аспекты складывания и развития системы финансово-экономических отношений в регионе затрагивались в трудах Г. В. Баева [2], А. А. Белоусова [3], Г. Х. Мамбетова [4], А. И. Щеголева [5], Т. Х. Кумыкова [6], Е. Г. Муратовой [7], П. А. Кузьминова [8], Т. А. Дзуганова [9; 10], Д. Н. Прасолова [11; 12], И. С. Пазова [13], А. Х. Абазова [1] и др. Вместе с тем доступная делопроизводственная документация Нальчикского окружного правления и правлений участков округа (в основном материалы Нальчикского (Пятигорского) окружного правления, хранящиеся в Управлении центрального государственного архива Архивной службы КБР: Ф. И-6 «Управление Нальчикского округа»; Ф. И-51 «Управление Пятигорского округа») позволяет ставить и решать такие вопросы, как механизмы обсуждения и внедрения в практику общественных мирских податей, выявление особенностей их учета, характеристика каналов финансирования общественно значимых проектов в округе [УЦГА АС КБР. Ф. И-6; Ф. И-51] и т.п.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В последней трети XIX – начале XX в. некоторые мирские общественные повинности устанавливались населением Нальчикского округа самостоятельно. Для этого был выработан соответствующий механизм, и с течением времени сложилась практика его применения в административной системе округа. Так, решения о размерах податей и статьях финансирования деятельности некоторых должностных лиц и общественно значимых проектов принимались на заседаниях Съезда доверенных. После утверждения постановления Съезда доверенных в Терском областном правлении они становились обязательными для исполнения. Рассмотрим на конкретных примерах особенности взимания устанавливаемых самостоятельно населением Нальчикского округа общественных мирских податей (денежных повинностей).

Так, 18 декабря 1877 г. на заседании Съезда доверенных было решено установить с начала 1878 г. специальный сбор с каждого двора в 1 руб. на уплату жалования судьям

Нальчикского горского словесного суда, на содержание земских троек в Кабарде, на оплату услуг переводчиков, депутатов и рассыльных при землемерах, на наем квартиры в Баксане для землемеров, уплату услуг за пользование банями для арестантов, содержащихся на Нальчикской гауптвахте, на приобретение учебных пособий для аульных школ [УЦГА АС КБР. Ф. И-51. Оп. 1. Д. 7. Л. 4–4 об.]. На Съезде рассматривались и вопросы о целесообразности финансирования за счет общественных средств тех и иных учреждений и эффективности их функционирования (о финансировании учрежденных в 1875 г. в Кучмазукино, Куденетова I и Шалушкинской аульных школ). В приговоре Съезда доверенных по этому вопросу было записано следующее решение: «1. На содержание означенных 3-х школ употреблено денег, собранных с народа, до девяти тысяч рублей; 2. Ходившие в школы в течение всего времени мальчики успехов в изучении и понимании русской грамоты и на будущее время не смогут показать успехов в изучении грамоты; 3) употребленная на содержание школ сумма затрачена бесполезно, и 4) такой сбор с народа слишком обременителен» [УЦГА АС КБР. Ф. И-51. Оп. 1. Д. 7. Л. 9–9 об.]. Было решено просить разрешения начальника Терской области о закрытии с 1 января 1878 г. этих аульных школ и об учреждении вместо них ремесленного отделения при Нальчикской окружной горской школе с увеличением числа воспитанников из кабардинцев и балкарцев сверх установленного штата и их жалования за счет средств от сбора мирских общественных повинностей.

Анализ содержания ведомостей о состоянии денежных общественных сборов в 3-м участке Нальчикского округа за 1884 г. показывает, что средства собирались на содержание земской почты, судей Горского словесного суда, этапных помещений, кордонных постов и на устройство приемных покоев для кабардинцев, а также на содержание духовенства, местных управлений, должностных и других лиц, «служащих при них по выбору и по найму», и на другие расходы деятельности управлений, на содержание школ и учителей, ремонт школьных зданий, жалование временных сельских караулов [УЦГА АС КБР. Ф. И-6. Оп. 1. Д. 86. Л. 62].

С течением времени в деятельности Съездов доверенных наметилась тенденция к увеличению количества расходных статей за счет общественных средств. Анализ подворной раскладки сбора с населения округа за 1891 г., составленной на основании приговоров Съездов доверенных, показывает, что средства направлялись на ремонт и наем сторожа Черекского моста, ремонт, отопление и освещение Даутоковского этапного дома и Нальчикского, Шалушкинского, Урванского, Черекского и Кошевского охранных постов, на ремонт некоторых мостов и дорог, расположенных вдали от селений (взамен отбывания подводной повинности), хозяйственные расходы Нальчикской гауптвахты, доставку воды на гауптвахту и жалование ее заведующему, увеличение жалования народному кадию и народным депутатам Горского словесного суда, содержание временного его отделения, на жалование переводчику словесного суда, содержание охранной стражи нагорных пастбищ [УЦГА АС КБР. Ф. И-6. Оп. 1. Д. 202. Л. 3–4 об.; УЦГА АС КБР. Ф. И-6. Оп. 1. Д. 583. Л. 1–2].

В целом же с населения Нальчикского округа в 1891 г. планировался сбор на общую сумму 9 615 руб. 22 коп. [УЦГА АС КБР. Ф. И-6. Оп. 1. Д. 202. Л. 5 об.]. В том числе:

– 1-й участок: с. Хасаут (144 двора, далее – «дв.») – 102 руб. 78 коп., с. Кармово (292 дв.) – 203 руб. 41 коп., с. Ашабово (470 дв.) – 335 руб. 47 коп., с. Бабуково (290 дв.) – 335 руб. 47 коп., с. Атажукино 3 (285 дв.) – 203 руб. 42 коп., с. Коново (352 дв.) – 251 руб. 26 коп., с. Лафишево (146 дв.) – 104 руб. 22 коп., с. Иналово (244 дв.) – 174 руб. 15 коп., с. Тамбиево 2 (201 дв.) – 143 руб. 46 коп., с. Касаево (305 дв.) – 217 руб. 70 коп., с. Кучмазукино (290 дв.) – 206 руб. 98 коп., с. Тамбиево 1 (318 дв.) – 226 руб. 97 коп., с. Тыжево (204 дв.) – 145 руб. 62 коп., с. Наурузово (352 дв.) – 251 руб. 24 коп., с. Атажукино 1 (294 дв.) – 209 руб. 86 коп., с. Атажукино 2 (250 дв.) – 178 руб. 43 коп. Итого: 3 166 руб. 94 коп. с 4 437 дворов в населенных пунктах участка. В среднем в 1891 г. сумма сбора с одного двора населенного пункта 1 участка Нальчикского округа составляла 71,3 коп.;

– 2-й участок: общ. Балкарское (597 дв.) – 922 руб. 56 коп., общ. Хуламское (228 дв.) – 352 руб. 36 коп., общ. Безенгиевское (165 дв.) – 255 руб., общ. Чегемское (554 дв.) – 856 руб. 12 коп., общ. Урусбиевское (306 дв.) – 472 руб. 87 коп., с. Гунделен (194 дв.) – 299 руб. 80 коп., пос. Кашкатау (76 дв.) – 117 руб. 47 коп., пос. Озроковский (31 дв.) – 47 руб. 92 коп. Итого: 3 324 руб. 10 коп. с 2 151 двора в населенных пунктах участка. В среднем в 1891 г. сумма сбора с одного двора населенного пункта 2-го участка Нальчикского округа составляла 1 руб. 54,5 коп. Разница в сумме сбора по сравнению с населенными пунктами 1-го и 3-го участков округа объяснялась тем, что содержание временного отделения Нальчикского горского словесного суда осуществлялось исключительно за счет средств, собранных с жителей 2-го участка округа;

– 3-й участок: с. Тохтамышево (76 дв.) – 54 руб. 25 коп., с. Куденетово 1 (310 дв.) – 221 руб. 28 коп., с. Куденетово 2 (202 дв.) – 144 руб. 47 коп., с. Кайсын-Анзорово (430 дв.) – 306 руб. 92 коп., с. Коголкино (192 дв.) – 137 руб. 5 коп., с. Хату Анзорово (148 дв.) – 105 руб. 65 коп., с. Аргуданское (360 дв.) – 256 руб. 95 коп., с. Докшково (223 дв.) – 159 руб. 16 коп., с. Докшукино (198 дв.) – 141 руб. 31 коп., с. Догужоково (135 дв.) – 96 руб. 37 коп., с. Жанхотово (310 дв.) – 221 руб. 22 коп., с. Нижнее Кожоково (213 дв.) – 152 руб. 2 коп., с. Верхнее Кожоково (111 дв.) – 79 руб. 25 коп., с. Нальчикское Клишбиево (415 дв.) – 296 руб. 22 коп., с. Шалушкинское (271 дв.) – 193 руб. 43 коп., с. Кошероково (114 дв.) – 81 руб. 47 коп., с. Мисостово (138 дв.) – 98 руб. 51 коп. Итого: 2 745 руб. 23 коп. с 3 846 дворов в населенных пунктах участка. В среднем в 1891 г. сумма этого сбора с одного двора населенного пункта 3-го участка Нальчикского округа составляла 71,3 коп.;

– населенные пункты Малой Кабарды, входившие в то время в состав Сунженского отдела Терской области: с. Ахлово (217 дв.) – 38 руб. 53 коп., с. Хапцево (230 дв.) – 40 руб. 85 коп., с. Булатово (246 дв.) – 43 руб. 69 коп., с. Бороково (217 дв.) – 38 руб. 41 коп., с. Абаево (179 дв.) – 31 руб. 80 коп., с. Муртазово (263 дв.) – 46 руб. 71 коп., с. Баташево (185 дв.) – 32 руб. 85 коп., с. Тохтамышево (188 дв.) – 33 руб. 38 коп., с. Исламово (306 дв.) – 54 руб. 35 коп. Итого: 360 руб. 70 коп. с 2 031 двора в населенных пунктах отдела. В среднем в 1891 г. сумма сбора с одного двора населенных пунктов Малой Кабарды составляла 17,75 коп. При этом за счет сбора с населенных пунктов Малой Кабарды финансировалось лишь увеличение жалования народного кадия, депутатов и переводчика Нальчикского горского словесного суда, в котором малокабардинские аулы имели в то время своего представителя. При этом у атамана Сунженского отдела возникли закономерные вопросы о том, для какой надобности требуются деньги (земские сборы) с жителей малокабардинских селений и как исчислялась данная сумма, что он изложил в письме начальнику Нальчикского округа 5 марта 1891 г. [УЦГА АС КБР. Ф. И-6. Оп. 1. Д. 202. Л. 10]. На что начальник Нальчикского округа ответил, что «т.к. на все население Большой и Малой Кабарды на взыскание добавочного содержания трем депутатам и кадию Нальчикского горского словесного суда причитается сумма 1850 руб.», а именно 8 283 дыма (двора) в Большой Кабарде, 2 031 – в Малой и 102 – в сел. Абуково Пятигорского отдела. Горские общества не входили в эту раскладку, т.к. они на свои средства сами содержали временное отделение Горского словесного суда [УЦГА АС КБР. Ф. И-6. Оп. 1. Д. 202. Л. 11; УЦГА АС КБР. Ф. И-6. Оп. 1. Д. 583. Л. 5 об. – 6];

– населенные пункты Пятигорского отдела Терской области: с. Абуково (102 дв.) – 18 руб. 25 коп. [УЦГА АС КБР. Ф. И-6. Оп. 1. Д. 202. Л. 5–5 об.]. В 1891 г. сумма сбора с этого селения составляла так же, как и в Малой Кабарде, 17,75 коп. При этом за счет данного сбора финансировались те же расходы, что и с населенных пунктов Малой Кабарды.

В некоторых случаях на основании приговоров Съезда доверенных могли устанавливаться дополнительные сборы на разные нужды. В частности, в 1891 г. за счет населения Большой и Малой Кабарды были собраны дополнительные средства на приобретение лошадей и седел для подношения командующему войсками Кавказского военного округа [УЦГА АС КБР. Ф. И-6. Оп. 1. Д. 202. Л. 15–92].

Такая же ситуация складывалась и в начале XX в. Например, в период до включения Малой Кабарды в состав Нальчикского округа (1905) жители населенных пунктов (Ахлово, Хапцево, Булатово, Бороково, Абаево, Муртазово, Боташево, Астемирово и Исламово), которые делегировали своего представителя для работы в кабардинском отделении Нальчикского горского словесного суда, по-прежнему уплачивали сбор согласно утвержденным начальником Терской области приговорам Съездов доверенных [УЦГА АС КБР. Ф. И-6. Оп. 1. Д. 583. Л. 8–8 об.]. Механизм сбора состоял в том, что собранные деньги старшины указанных населенных пунктов были обязаны самостоятельно передавать в управление Нальчикского округа.

В начале 1905 г. (т.е. еще накануне включения населенных пунктов Малой Кабарды в состав Нальчикского округа) с повестки дня не сходил вопрос о сборе с них денег в уплату подати по раскладной ведомости на содержание Нальчикского горского словесного суда [УЦГА АС КБР. Ф. И-6. Оп. 1. Д. 651. Л. 2]. Причем и коммуникация между работниками учреждений власти также не менялась. Начальник Нальчикского округа инициировал сбор налога, направляя соответствующие письма атаману Сунженского отдела Терской области. Тот в свою очередь давал распоряжение сельским старшинам. Они рапортовали ему о выполненном поручении. И собранные средства передавались в управление Нальчикского округа.

В 1906 г. подворная раскладка сбора с населения Большой и Малой Кабарды и горских обществ, составленная, согласно общественным приговорам доверенных от обществ, существенных изменений не претерпела. Средства по этой части взимались на:

- ремонт Черекского моста (на основании резолюции начальника Терской области на докладе областного инспектора от 23 марта 1892 г.);
- наем сторожа на Черекский мост взамен отбывания натуральной повинности (на основании разрешения начальника области, изложенного в предписании областного правления от 29 июня 1893 г.);
- ремонт отопления, освещения и хозяйственные расходы Даутоковского этапного дома, Нальчикского, Шалушкинского, Урванского (он же Даутоковский), Котляревского и Черекского (согласно приговору доверенных от 24 ноября 1892 г., утвержденному начальником Терской области 7 января 1893 г.);
- наем сторожа к Даутоковскому этапному помещению (на основании того же приговора);
- ремонт Шалушкинского и других мостов по нальчикско-котляревской дороге (на основании того же приговора и разрешения Начальника области, изложенного в предписании Областного правления от 29 июля 1893 г.);
- хозяйственные расходы нальчикской гауптвахты (на основании того же приговора);
- доставку воды для арестантов нальчикской гауптвахты (на основании того же приговора);
- жалование заведующему нальчикской гауптвахты (на основании того же приговора);
- усиление жалования кадию и депутатам Нальчикского горского словесного суда (на основании приговора доверенных от 18 декабря 1890 г., утвержденного начальником Терской области 21 февраля 1891 г.);
- жалование словесному переводчику, состоящему при начальнике округа (на основании приговора доверенных от 3 ноября 1891 г., утвержденного начальником области 17 сентября 1892 г.);
- содержание временного отделения Нальчикского горского словесного суда (на основании приговора доверенных от 4 ноября 1889 г. и предписания начальника области от 10 декабря 1895 г.) [УЦГА АС КБР. Ф. И-6. Оп. 1. Д. 684. Л. 3 об. – 6].

Примечательно, что и в этот период жители населенных пунктов 2-го участка округа (преимущественно с балкарским населением) не подлежали уплате сбора на усиление жалования

кадию и депутатам Нальчикского горского словесного суда, а остальных трех участков – на содержание временного отделения словесного суда [УЦГА АС КБР. Ф. И-6. Оп. 1. Д. 684. Л. 3 об. – 6]. Жители с. Абуковское Пятигорского отдела Терской области по-прежнему уплачивали сбор в управление Нальчикского округа на усиление жалования кадию и депутатам словесного суда [УЦГА АС КБР. Ф. И-6. Оп. 1. Д. 684. Л. 5 об.]. От этого мог зависеть и размер общего сбора, который отличался в зависимости от проживания плательщиков в том или ином участке округа. Анализ раскладной ведомости за 1906 г. показывает, что в среднем жители округа должны были уплачивать по 0,4 руб. в год с одного домовладения (двора, дыма). При этом жители 1-го участка – 0,32 руб., 2-го участка – 0,75 руб., 3-го и 4-го участка – 0,33 руб., с. Абуковское – 0,2 руб. Отчетность о целевом расходовании собранных средств поступала в окружное управление в виде счетов уполномоченных лиц [УЦГА АС КБР. Ф. И-6. Оп. 1. Д. 684. Л. 40].

В 1908 г. к этой раскладке добавился еще один пункт: «На отопление и освещение Баксанского милиционерского поста» (на основании приговора доверенных в 1907 г. от 1-го участка округа, принявших решение учредить в Баксане почтовое отделение) [УЦГА АС КБР. Ф. И-6. Оп. 1. Д. 732. Л. 12 об.]. Анализ содержания самой же раскладки показывает, что этот сбор взимался исключительно с населения 1-го участка (селений Хасаутское, Ашабово, Кармово (с. Хабаз), Бабуково, Атажукино 1, Атажукино 2, Атажукино 3, Коново, Лафишево, Иналово, Тамбиево 1, Тамбиево 2, Касаево, Кучмазукино, Тыжево, Наурузово, Абуково, Баксанское и волости Кременчукско-Константиновской) Нальчикского округа. Дополнительная финансовая нагрузка на плательщиков составляла примерно 2 коп. с домовладения [УЦГА АС КБР. Ф. И-6. Оп. 1. Д. 732. Л. 14]. Всего с жителей участка по этой литературе было взыскано 120 руб. с 5908 податных дворов [УЦГА АС КБР. Ф. И-6. Оп. 1. Д. 732. Л. 13 об. – 14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, некоторые мирские общественные денежные повинности устанавливались в последней трети XIX в. – начале XX в. населением Нальчикского округа самостоятельно для оплаты труда судей и некоторых других должных лиц, избираемых от народа, покрытие расходов на некоторые категории услуг, а также на финансирование общественно значимых проектов. Причем население посредством участия доверенных на съездах имело возможность ходатайствовать перед властями об изменении каналов финансирования, реорганизации неэффективных учреждений (получателей средств), увеличении штата эффективных и т.п. С течением времени круг финансируемых проектов и должностных лиц расширялся, что приводило Съезд доверенных к необходимости периодически пересматривать в сторону увеличения сумму общественной денежной повинности. Размер денежной повинности в участках Нальчикского округа был неодинаковым. Это в основном зависело от круга финансируемых должностных лиц и объектов, количество которых в разных участках округа рознилось. Также примечательно, что нести повинности были обязаны и жители малокабардинских населенных пунктов, в административном плане отнесенных к Сунженскому отделу Терской области, а также селения с преимущественным кабардинским населением в составе Пятигорского отдела. Однако за счет их денежной повинности финансировалась лишь деятельного основного отделения Горского словесного суда в Нальчике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абазов А. Х.* Народы Центрального Кавказа в судебной системе Российской империи в конце XVIII – начале XX в. Нальчик: Печатный двор, 2016. 264 с.
2. *Баев Г. В.* Народный кредит в Терской области. Владикавказ: Типография Сергея Назарова, 1908. 56 с.

3. Белоусов А. А. Экономическое развитие Кабарды 1867–1953 гг. Нальчик: Кабардинское книжное издательство, 1956. 120 с.
4. Мамбетов Г. Х. К вопросу о проникновении капиталистических отношений в экономику Кабарды и Балкарии во второй половине XIX – начале XX веков // Сборник статей по истории Кабардино-Балкарии. Вып. IX. Нальчик: Эльбрус, 1961. С. 110–148.
5. Щеголев А. И. Крестьянское движение в Кабардино-Балкарии в годы Столыпинской реакции и нового революционного подъема. Нальчик: Кабардино-Балкарское книжное издательство, 1962. 136 с.
6. Кумыков Т. Х. Экономическое и культурное развитие Кабарды и Балкарии в XIX веке. Нальчик, Эльбрус, 1965. 420 с.
7. Муратова Е. Г. Д. С. Кодзоков и начало земельных преобразований в Балкарии (1860-1870-е гг.) // Электронный журнал «Кавказология». 2019. № 1. С. 80–86. DOI: <https://doi.org/10.31143/2542-212X-2019-1-80-86>.
8. Кузьминов П. А., Абаева М. Ш. Опыт строительства общественных колесных дорог в балкарских обществах во второй половине XIX века // Электронный журнал «Кавказология». 2021. № 2. С. 12–39. DOI: <https://doi.org/10.31143/2542-212X-2021-2-12-39>.
9. Дзуганов Т. А., Гукетлова Л. Х. Промышленность и торговля Нальчикского округа в нач. XX века // Всеобщая история. 2018. № 2. С. 47–53.
10. Дзуганов Т. А. Предпринимательские практики в слободе Нальчик (вторая половина XIX – начало XX в.) // Электронный журнал «Кавказология». 2021. № 3. С. 82–110. DOI: <https://doi.org/10.31143/2542-212X-2021-3-82-110>.
11. Прасолов Д. Н. Развитие местного самоуправления у кабардинцев и балкарцев во второй половине XIX – начале XX в. Нальчик: Редакционно-издательский отдел ИГИ КБНЦ РАН, 2017. 136 с.
12. Прасолов Д. Н. Земский вопрос в общественно-государственном взаимодействии на Кавказе в конце XIX – начале XX в. // Электронный журнал «Кавказология». 2020. № 4. С. 69–94. DOI: <https://doi.org/10.31143/2542-212X-2020-4-69-94>.
13. Пазов И. С. Финансы и экономика Нальчикского округа в начале XX века (1905-1917 гг.) // Электронный журнал «Кавказология». 2018. № 4. С. 42–64. DOI: <https://doi.org/10.31143/2542-212X-2018-4-42-64>.
14. УЦГА АС КБР – Управление Центрального государственного архива Архивной службы Кабардино-Балкарской Республики.

Информация об авторе

Кярова Фатима Азреталиевна, аспирант Научно-образовательного центра Кабардино-Балкарского научного центра РАН;
360010, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2;
miss.kyarova@mail.ru

REFERENCES

1. Abazov A.Kh. *Narody Tsentral'nogo Kavkaza v sudebnoi sisteme Rossiiskoi imperii v kontse XVIII – nachale XX v.* [The peoples of the Central Caucasus in the judicial system of the Russian Empire in the late XVIII – early XX centuries]. Nal'chik: Pechatnyi dvor, 2016. 264 p. (In Russian)
2. Baev G.V. *Narodnyi kredit v Terskoi oblasti* [People's credit in the Terek region]. Vladikavkaz: Tipografia Sergeya Nazarova, 1908. 56 p. (In Russian)
3. Belousov A.A. *Ekonomicheskoe razvitie Kabardy 1867-1953 gg.* [Economic development of Kabarda 1867–1953]. Nal'chik: Kabardinskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1956. 120 p. (In Russian)
4. Mambetov G.X. *K voprosu o proniknovenii kapitalisticheskikh otnoshenii v ekonomiku Kabardy i Balkarii vo vtoroi polovine XIX – nachale XX vekov* [On the question of the penetration of

capitalist relations into the economies of Kabarda and Balkaria in the second half of the XIX - early XX centuries]. In: *Sbornik statei po istorii Kabardino-Balkarii*. Issue IX. Nal'chik: El'brus, 1961. Pp. 110–148. (In Russian)

5. Shchegolev A.I. *Krest'yanskoe dvizhenie v Kabardino-Balkarii v gody Stolypinskoi reaksii i novogo revolyutsionnogo pod"ema* [Peasant movement in Kabardino-Balkaria during the years of the Stolypin reaction and a new revolutionary rise]. Nal'chik: Kabardino-Balkarskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1962. 136 p. (In Russian)

6. Kumykov T.Kh. *Ekonomicheskoe i kul'turnoe razvitie Kabardy i Balkarii v XIX veke* [Economic and cultural development of Kabarda and Balkaria in the 19th century]. Nal'chik: El'brus, 1965. 420 p. (In Russian)

7. Muratova E.G. D.S. *Kodzokov i nachalo zemel'nykh preobrazovaniy v Balkarii (1860-1870-e gg.)* [D.S. Kodzokov and the beginning of land reforms in Balkaria (1860-1870s)]. *Elektronnyi zhurnal «Caucasology»*. 2019. No. 1. Pp. 80–86. DOI: <https://doi.org/10.31143/2542-212X-2019-1-80-86>. (In Russian)

8. Kuz'minov P.A., Abaeva M.Sh. *Opyt stroitel'stva obshchestvennykh kolesnykh dorog v balkarskikh obshchestvakh vo vtoroi polovine XIX veka* [Experience in the construction of public wheeled roads in Balkar societies in the second half of the 19th century]. *Elektronnyi zhurnal «Caucasology»*. 2021. No. 2. Pp. 12–39. DOI: <https://doi.org/10.31143/2542-212X-2021-2-12-39>. (In Russian)

9. Dzuganov T.A., Guketlova L.Kh. *Promyshlennost' i torgovlya Nal'chikskogo okruga v nach. XX veka* [Industry and commerce of the Nalchik district in the beginning of 20th century]. *Universal History*, 2018. No. 2. Pp. 47-53. (In Russian)

10. Dzuganov T.A. Entrepreneurial practices in the settlement of Nalchik (second half of the XIX - early XX centuries). *Elektronnyi zhurnal «Caucasology»*. 2021. No. 3. Pp. 82–110. DOI: <https://doi.org/10.31143/2542-212X-2021-3-82-110>. (In Russian)

11. Prasolov D.N. *Razvitie mestnogo samoupravleniya u kabardintsev i balkartsev vo vtoroi polovine XIX – nachale XX v.* [The development of local self-government among Kabardins and Balkars in the second half of the XIX - early XX centuries]. Nal'chik: Redaktsionno-izdatel'skii otdel IGI of KBSC of RAS, 2017. 136 p. (In Russian)

12. Prasolov D.N. *Zemskii vopros v obshchestvenno-gosudarstvennom vzaimodeistvii na Kavkaze v kontse XIX – nachale XX v.* [Zemsky issue in social and state interaction in the Caucasus in the late XIX - early XX centuries]. *Elektronnyi zhurnal «Caucasology»*. 2020. No. 4. Pp. 69–94. DOI: <https://doi.org/10.31143/2542-212X-2020-4-69-94>. (In Russian)

13. Pazov I.S. *Finansy i ekonomika Nal'chikskogo okruga v nachale XX veka (1905-1917 gg.)* [Finance and economics of the Nalchik district at the beginning of the 20th century (1905–1917)]. *Elektronnyi zhurnal «Caucasology»*. 2018. No. 4. Pp. 42–64. DOI: <https://doi.org/10.31143/2542-212X-2018-4-42-64>. (In Russian)

14. *Upravlenie Tsentral'nogo gosudarstvennogo arkhiva Arkhivnoi sluzhby Kabardino-Balkarskoi Respubliki* [Office of the Central State Archive of the Archive Service of the Kabardino-Balkarian Republic]. (In Russian)

Information about the author

Kyarova Fatima Azretaliyevna, postgraduate student of the Scientific and Educational Center, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences; 360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street; miss.kyarova@mail.ru

Традиционная культура адыгов в историко-героическом эпосе (на материале сказания о князе Шолохе и князе Алиджуко)

Л. А. Гутова

Институт гуманитарных исследований –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН
360000, Россия, Нальчик, ул. Пушкина, 18

Аннотация. В статье рассматривается характер отражения традиционного уклада жизни адыгов в XVII–XVIII веках в фольклорных текстах историко-героического эпоса. В качестве основного источника сведений использован сюжет сказания о князе Шолохе и князе Алиджуко. Здесь обстоятельно представляется картина взаимоотношений между князьями, принципы и общепринятые правила выбора верховного князя, наделение его соответствующей властью (включая его роль в судах *мехкеме* и *хаса*). Исследуется комплекс обычаев, связанных с кровной мстью, гостеприимством, этикетные императивы, а также затрагивается тема традиционных методов врачевания. В ходе исследования акцентировалось внимание на соответствии фольклорных нарративов сведениям, представленным в достоверных источниках. Для этого привлекался не только вариант сказания историко-героического эпоса, но и материалы, имеющие отношение к традиционной культуре адыгов, ранее опубликованные в печатных изданиях и в сети интернет.

Ключевые слова: мехкеме, хаса, Шолох, Алиджуко, уорк-дворянин, хашеш, пхешаса

Поступила 05.10.2022, одобрена после рецензирования 12.10.2022, принята к публикации 14.10.2022

Для цитирования. Гутова Л. А. Традиционная культура адыгов в историко-героическом эпосе (на материале сказания о князе Шолохе и князе Алиджуко) // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 196–202. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-196-202

Original article

Traditional culture of the Adyghes (Circassians) in the historical and heroic epic (on the material of the legend about Prince Sholokh and Prince Alidzhuko)

L.A. Gutova

Institute of Humanitarian Researches –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360000, Russia, Nalchik, 18 Pushkin street

Annotation. The article discusses the nature of the reflection of the traditional way of life of the Circassians in the XVII-XVIII centuries in the folklore texts of the historical and heroic epic. The plot of the legend about Prince Sholokh and Prince Alidzhuko was used as the main source of information. Here, a picture of the relationship between the princes is presented in detail, the principles and generally accepted rules for choosing the supreme prince, empowering him with the appropriate authorities (including his role in the *mehkeme* and *khasa* courts). The complex of customs associated with blood feud, hospitality, etiquette imperatives is explored, and the topic of traditional methods of healing is also touched upon. In the course of the study, attention was focused on the correspondence

of folklore narratives with information presented in reliable sources. For this, not only a variant of the legend of the historical and heroic epic was involved, but also materials related to the traditional culture of the Adyghes, previously published in print media and on the Internet.

Key words: mehkeme, khasa, Sholokh, Alidzhuko, work nobleman, hashesh, pheshasa

Submitted 05.10.2022,

approved after reviewing 12.10.2022,

accepted for publication 14.10.2022

For citation. Gutova L.A. Traditional culture of the Adyghes (Circassians) in the historical and heroic epic (on the material of the legend about Prince Sholokh and Prince Alidzhuko). *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2022. No. 5 (109). Pp. 196–202. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-196-202

Историко-героический эпос опирается как на основной источник мотивов и сюжетов на события, которые реально происходили в далекие исторически определенные времена. Следовательно, в нем сочетается целый комплекс сведений: от истории народа, обычаев и порядков вплоть до элементов традиционного уклада жизни адыгов. Вполне допустимо, что в преданиях историко-героического характера, которые являются фольклорным жанром, могут быть как полностью вымышленные персонажи, так и частично адаптированные фольклорным сознанием события и герои. В представленной статье мы постарались проанализировать уклад жизни адыгов XVII–XVIII веков на материале сказания о князе Шолохе и князе Алиджуко в сравнении с ранее зафиксированными обычаями и традициями в этнографических и исторических трудах, а также в материалах из интернета.

Прежде чем приступить к анализу в указанном направлении, считаем важным провести экспресс-анализ сказания, которое дошло до нас в контаминации нескольких элементарных сюжетов, что характерно для многих нарративных жанров фольклора. Можно выделить несколько элементарных сюжетов в составе всего сказания. Так, резонно отметить как относительно автономную часть повествование о том, как Шолох стал верховным князем Кабарды, разделенной на удельные княжества. С ним органично связывается сюжетная линия о возникших противоречиях между жителями Большой и Малой Кабарды якобы из-за недобросовестного принципа правления верховного князя. Далее следует линия возвышения князя Алиджуко, который в данном сказании выступает только как противник Шолоха. Между тем его прототип, исторический князь Алигуко Шогенуко, последовательно вел борьбу за объединение всех удельных княжеств под одной властью единого верховного князя, и он действительно организовал в свое время поход на Малую Кабарду, но не для оспаривания власти князя-уалия, а для объединения раздробленного края в подобие централизованного государства. Другую самостоятельную линию образует история противостояния князей Мудара Хафы и Карашая, сына Шолоха, что историческими сведениями не подтверждается. Говоря о героях сказания, следует заметить, что упоминаемый в самом начале текста князь Бесланей (исторический Беслан Тучный) и центральные герои сказания – Шолох, его сын Карашай, Алиджуко, Мудар Хафа – имеют прототипов в реальной истории так же, как и некоторые персонажи песенного текста. Однако не все они жили в одно время и не всегда вступали в описываемые противоречия. Историческая правда в сказании переплетается с вымыслом.

Так, например, на образ Алиджуко оказал влияние сказочный персонаж с этим же именем – типичный герой-богатырь, скрывающийся под видом неказистого (здесь – коростливого или «гнидоголового») плешивца. Близким исторической правде уместно признать роль реальной личности Шолоха Тепсеруковича в появлении разновидности легендарной кабардинской породы лошадей под названием шолоховская; скорее всего, появление ее – результат селекционной работы, успешно завершенной во времена этого князя.

Историческим событиям, близким к упоминаемым и аккумулированным фольклором событиям, посвящены циклы о Куркужинской битве и о так называемом Малокабардинском ночном нападении.

Так, на основе комплекса сюжетов одного сказания мы строим наше исследование, опираясь в большей степени на традиционную культуру и уклад жизни адыгов, отраженный в данном повествовании и, как упоминалось ранее, зафиксированный в ранних и современных историко-этнографических трудах адыгских ученых.

В частности, в сказании запечатлен такой судебный орган, как *мехкеме*, состоявший из 12 человек: *уалия*, двух-трех князей и восьми-девяти *уорков*, а также секретаря и мусульманского священника-*кадия*. Согласно повествованию, недовольные правлением князя Шолоха, в основном притесняемые в своих правах жители Большой Кабарды, собрали тайное *мехкеме* и *хасу*, где решили свергнуть несправедливого правителя. Он (суд) на основе норм шариата рассматривал все дела за исключением споров между князьями и уорками [1, с. 130–131]. Далее следует отметить и отраженную в повествовании важность *хасы*. Это был совет старейшин из аристократического слоя общества. Согласно исследованиям Х.М. Думанова, в нартском эпосе *хаса* характеризуется как совет, где решались важнейшие дела нартов. На *хасу*, т.е. совет, приглашали обычно взрослых мужчин, но иногда вызывали и молодежь [2, с. 156]. Считаю уместным привести здесь структуру органа, которую достаточно подробно представил другой адыгский ученый-этнограф Г. Х. Мамбетов: «*Хасы* были трехпалатным законодательным органом Кабарды. Трехпалатный состав кабардинских *хас* отмечали П. С. Потемкин (1784), Г. Ю. Клапорт (1807–1808) и выдающийся адыгский просветитель-историк Ш. Б. Ногмов. *Хасы* собирал верховный князь Кабарды по мере надобности. На них обсуждались важнейшие политические и экономические вопросы, затрагивающие интересы всей Кабарды...» [1, с. 124].

Согласно исследованию ученого, трехступенчатость этого органа определялась по следующим параметрам: первая инстанция – это князья, которые обдумывали свои решения по тем или иным вопросам и выносили свои предложения на суд *уорков*-дворян, дворяне же представляли заключение князей и *уорков* народу. Таким образом выстраивалась посвоему демократическая сословная цепочка функционирования органа, в котором были задействованы чуть ли не все слои населения. За последними, а именно за народом, закреплялось окончательное утверждение решения. Нередки были случаи, когда *хасы* и *мехкеме* не приходили к общему мнению, но в случае, описанном в предании, оба органа были солидарны относительно свержения князя Шолоха. Вместо него инициаторами акции представлялась кандидатура князя Алиджуко. Однако Алиджуко был плешив, страдал водяной, не получил должного воспитания, так как из-за физических недугов считался непригодным для княжения. Князь, в особенности верховный, должен был служить для подданных примером во всем, в том числе своим внешним видом, знаниями, мужеством, сноровкой, красноречием, дипломатическими способностями. Для этого его сначала обучили всем нормам и правилам адыгского этикета. А для лечения его недуга пригласили дагестанского лекаря (приглашение врачевателя или кудесника из другой земли – один из распространенных в мировом фольклоре художественных приемов идеализации). Здесь считаю уместным более подробно сказать о врачевальном искусстве кавказских целителей и их традиционных методах лечения. Так, Ф. Ф. Торнау писал о медицине горцев: «Надо отдать справедливость искусству, с которым горские лекари вылечивают самые опасные раны. Ампутации у них нет в употреблении, и мне не раз случалось видеть кости, срошенные после того, как они были раздроблены картечью»¹.

¹ Материал из сети интернет. Казиев Шапи Магомедович. Горская медицина // Document: wikireading. Ru

В предании также повествуется о методе излечения князя Алиджуко от плешивости и водянки. Лечение князя имело два этапа: первый – при помощи шкуры животного, второй – соли в смеси с травами. Приведем отрывок из текста для представления наиболее полной картины описываемого действия: «Лекарь пошел к табуну кобылиц, выбрал одну двухлетку откормленную и велел ее зарезать и снять шкуру. Потом велел князю Алиджуко раздеться догола, обмыл его теплым раствором каменной соли и завернул его в свежую лошадиную шкуру. Завернул он его в лошадиную шкуру от ног до головы и с обеих сторон крепко перевязал. Он только сделал отверстия для глаз и для носа, чтобы можно было дышать, и затем уложил на жарком солнце; и вот так стал он подсушивать его на солнце. По мере того, как шкура ссыхалась, князя Алиджуко сжимало, и он кричал: «Умираю!». Так, надрезая всякий раз шкуру в том месте, где сильнее всего болело, лекарь выгнал из тела Алиджуко всю до последней сукровицу, что была в его теле» [4].

Это сведение из текста предания, то есть эстетически организованного текста, где реальность преломляется в художественном воображении. Об использовании в лечении шкуры животного горскими лекарями в реальной практике писал и унтер-офицер Апшеронского пехотного полка С. Рябов. Оказавшись в плену у горцев, он вспоминал, как вылечили его раненую ногу. Мы не будем передавать все подробности лечения, но важно то, что после своеобразной операции ногу завернули в сырую теплую баранью овчину и, забинтовав ее натуго, оставили в таком положении на три дня. Нога быстро отекала как бревно, но спустя сутки отек начал проходить, а к концу третьих суток совсем спал [3]. Этот пример является наглядным подтверждением того, что на Кавказе активно практиковалось лечение при помощи шкуры животного и даже было признанным надежным средством для сращивания костей, до того как благодаря великому Н. И. Пирогову получило распространение при огнестрельных ранениях, переломах и вывихах.

Возвращаясь к лечению князя Алиджуко, отметим, что после того как шкура животного выполнила свою функцию, лекарь вновь обмыл тело больного теплым раствором каменной соли. Об очистительных свойствах соли известно достаточно давно. Она выполняет целый спектр лечебных задач и отвечает за обновление клеток, разжижает кровь и лимфу, способствует образованию красных кровяных телец, оказывает антибактериальное и антиоксидантное воздействие². На сегодняшний день соль также применяется как нетрадиционное средство лечения гнойных нарывов, фурункулов, ожогов.

Будет интересным привести пример лечения по методу современного врача Болотова. Так, на литр кипяченной воды приходится три столовые ложки соли без верха. Мы получим 9% солевой раствор, в который на минуту опускается марля в 7-8 слоев, затем она накладывается на больное место. Этим раствором не раз вылечивались ожоги 3-4 степени, а также гнойные раны. Очищались и затягивались даже самые сложные нагноения, исчезало воспаление³.

Отсюда видно, насколько тесно переплетаются методы нетрадиционной медицины прошлых веков с современными приемами лечения и насколько такой, казалось бы, примитивный способ врачевания солью может оказать положительное влияние на организм.

В результате такого лечения князь Алиджуко избавляется от хронического заболевания, обретает облик, достойный того, чтобы претендовать на высокий титул. Князь, тем более верховный, должен был соответствовать своему статусу по всем параметрам – как интеллектуальным, так и физическим, и это было одним из важных условий.

² Материал из сети интернет // poleznii-site.ru

³ Материал из сети интернет // Life journal

Внешность горца в немалой мере определялась его костюмом, и это органично сочетается с распространенным суждением, что представители высшего сословия не очень заботились о своем внешнем виде. Как можно полагать, за этим видимым безразличием к своему одеянию кроется более глубинная забота о внешнем виде, поскольку и самая скромная одежда не скрывала, а даже подчеркивала истинный статус владельца. Вот как детально описал Г. Х. Мамбетов костюм горца: «Мужская одежда не только была хорошо приспособлена к местным условиям, но и отличалась своей красотой, изяществом и своеобразной элегантностью. Она вполне соответствовала представлению горцев о красоте мужской фигуры, подчеркивала широкие плечи и тонкую талию, стройность и подтянутость, ловкость и силу» [1, с. 94]. Здесь же целесообразно упомянуть и о такой детали, как корсет, при помощи которого выпрямляли грудь и спину, утончали талию. Причем утонченная талия ценилась как признак красоты и стройности не только у девушек, но и у мужчин. В частности, если верить преданию, князю Алиджуко тоже пришлось носить такой корсет с деревянными дощечками – *куэнышбэ пхээщэцэ* (букв.: деревянные дощечки корсета). Таким образом, молодого князя кропотливо и серьезно готовили к принятию статуса верховного князя Кабарды.

Поскольку в предании сюжет контаминированный, уместно будет перейти на другую сюжетообразующую линию – князей Мудара Хафы (один из малокабардинских князей, по историческим сведениям, принадлежал роду Талостанов) и Карашая (сына Шолоха). Мудар Хафа, к которому прижился Шолох Могучий, после кончины Шолоха стал враждовать с его сыном Карашаем. Карашай был общительным, благородным и красноречивым человеком, за что люди его любили. Это пробудило в старом князе большие опасения: «Он так всех моих людей на свою сторону перетянет и меня моего княжения лишит», – встревожился он и задумал дурное против Карашая. Однажды, возвращаясь с *зеко* (похода), Карашай неожиданно упал с коня и сломал себе руку. Мудар Хафа прослышал о том, что тому руку перевязали и устраивают ему *шотшако* (ритуальное действо, устраиваемое в помещении, где лежит больной или раненый). «Под этим предлогом я навещу его, выманю из дому и велю его убить», – решил он. С таким дурным умыслом взял с собой своего табунщика Нагоя (ногайца), меткого стрелка, и направился к Карашаю. Карашай, ничего не подозревая, принимает высокого гостя в соответствии с правилами гостеприимства. Следует отметить, что гостеприимство адыгов иногда оборачивалось для них же самих трагедией. О таких инцидентах пишет С. Х. Мафедзев, писатель и известный этнограф: «Приняв согласно этикету гостей, проявив по отношению к ним все уважение и почтение, зачастую они (как гости-чужестранцы, так и местные) шли против своих *бысымов* (хозяин, принимающий гостя) и всего народа, преступив через хлеб-соль и обрекая многих на несчастья, даже на погибель. Такие факты сохранила история, в которой упоминаются зарубежные и русские псевдогости, шпионившие за адыгами, а также находившиеся в междоусобице князя и уорки» [7, с. 277]. Ученый приводит в пример трагедию, случившуюся с верным сподвижником русского царя Петра Великого Александром Бековичем-Черкасским, возглавлявшим хивинскую экспедицию. Среднеазиатский хан хитростью заманил к себе посланца русского царя, назвав его дорогим гостем. Так как адыги придавали сакральное значение такому обращению, очарованный ханскими словами «дорогой гость» Александр Бекович не заподозрил никакого коварного умысла и позволил расквартировать своих казаков по разным местам. Тем временем на улочках Хивы гостей ошпаривали кипятком и забивали камнями, самого же Черкасского зарезали, из головы и снятой с него кожи сделали пугало и выставили на базарной площади [7, с. 277]. Адыги, принимая гостя в своем *хащеш* (гостиная комната, которая выстраивалась как отдельное

строение), оказывали все почести согласно адыгскому этикету, забивали в честь гостя жертвенное животное (*хьэщIэныш*), выполняли все пожелания гостя для его комфортного пребывания и предоставляли защиту от преследователей, иногда даже ценой собственной жизни. Целесообразно отметить, что у адыгов был древний обычай, связанный с гостеприимством – *хьэщIэгъэкIуэтэж* – ритуальное сопровождение гостя до определенного места – чем дальше проводы, тем больше почтение к гостю. Х. М. Думанов по данному поводу пишет: «...Когда гость уезжал, то по обычаю хозяин должен был садиться на лошадь и сопровождать его до первого встречного населенного пункта. Только тогда он имел право возвращаться обратно» [2, с. 166].

Так и герой предания Карашай, поверив в искренность гостя, оказывает полагающиеся почести Мудару Хафе и в знак уважения провожает его как почетного гостя, пока они не оказываются вдалеке от дома.

Однако, когда Карашай разворачивается, чтобы вернуться, Мудар Хафа отдает приказ сопровождающему его ногойцу убить Карашая. Таким образом, в сказании раскрываются и случаи коварного поведения со стороны гостя. Естественно, что Карашай не остается неотмщенным. Обычай кровной мести (*льыщIэж*) функционировал на территории Кабарды вплоть до становления советской власти, а это приблизительно 20-е годы 20 века.

«Если кто-то умышленно или случайно убил человека, то его родственники подлежали к мести со стороны родственников потерпевшего» [Думанов, с. 90]. Убийство не оставалось неотмщенным. Как пишет Г. Х. Мамбетов, «по обычаю, только кровь за кровь могла удовлетворить обиженную сторону. Только вдовы и беззащитные люди жаловались на обидчиков, а все остальные сами добивались возмещения нанесенного ущерба путем непосредственного мщения» [1, с. 143].

Карашай, не имевший на тот момент потомства, способного отомстить за него, был отмщен его сестрой и вдовой, которые попросили об этом своего подданного, тоже ногойца, как и оруженосец Мудара Хафы, и расправились с коварным убийцей. Согласно исследованию Г. Х. Мамбетова, женщина не обязана была принимать непосредственное участие в самой акции кровной мести, но нередко она играла довольно активную роль в межродовых столкновениях. У кабардинцев и балкарцев, как и у многих других народов, писал М. О. Косвен, «женщины оказываются самыми деятельными подстрекательницами к мести» [1, 146].

Подводя итог нашим наблюдениям, мы можем с полным основанием признать, что в адыгском историко-героическом сказании этнографические детали отражены с довольно высоким уровнем достоверности. Такие атрибуты традиционной культуры, как гостеприимство, кровная месть, процедура выдвижения и избрания верховного князя, субординация между представителями разных ступеней социальной градации общества, даже традиционные способы врачевания передаются в сказании с высокой степенью достоверности. В то же время сам сюжет предания, в частности, основной конфликт и сюжетные ходы (иначе говоря – элементарные сюжеты), мобилизуемые для формирования повествования в целом, в большей части являются результатом неосознанно художественного творчества, плодами воображения, но никак не формой передачи исторически достоверных сведений. Соответствует ему и обращение с центральными героями: нет никаких достоверных сведений о том, что их реальные прототипы – князь Шолох Тепсерукович, его сын Карашай, князь Алиджуко, князь Мудар Хафа – состояли именно в таких отношениях друг с другом, как это утверждается в предании. Более того, не все они жили в одно и то же историческое время, а поэтому и встречаться не могли. Подобные смещения во времени и смешения достоверных фактов с вымыслом есть не что иное, как характерная особенность художественного повествования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мамбетов Г. Х. Традиционная культура кабардинцев и балкарцев. Нальчик: Эльбрус, 1994. 256 с.
2. Думэн Хь. М. Адыгэхэм я дауэдапшэхэр. Этнографие терминхэм я псалъалъэ // Краткий словарь этнографических терминов кабардино-черкесского языка. Налшык: Эль-Фа, 2006. 212 с.
3. Архив ИГИ КБНЦ РАН. Папка 20 р, паспорт 16. Исп. Сабанчиев Иссуф. Дата и место зап.: не указ. Зап. Сабанчиев И.
4. Мафедзев С. Х. Адыги, обычаи, традиции. Нальчик: Эль-Фа, 2000. 359 с.

Информация об авторе

Гутова Ляна Адамовна, канд. филол. наук, ст. науч. сотр. сектора адыгского фольклора, Институт гуманитарных исследований – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;
360000, Россия, г. Нальчик, ул. Пушкина, 18;
adam.gut@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3072-2234>

REFERENCES

1. Mambetov G.H. *Tradicionnaya kul`tura kabardincev i balkarcev* [Traditional culture of Kabardians and Balkars]. Nalchik: Elbrus, 1994. 256 p. (In Russian)
2. Dumen H.M. *Adygehem ya daue`dapshheher. Etnografie terminhem ya psalale // Kratkij slovar` etnograficheskikh terminov kabardino-cherkesskogo yazyka* [Brief dictionary of ethnographic terms of the Kabardino-Circassian language]. Nalchik: El-Fa, 2006. 212 p. (In Kabardin and in Russian)
3. Archive of Institute of Humanitarian Researches of KBSC of RAS. *Papka 20 r, passport 16* [file 20 r, passport 16]. *Isp. Sabanchiev Isuf. Data i mesto zap.: ne ukaz. Zap. Sabanchiev I.* (In Kabardian)
4. Mafedzev S.H. *Adygi, obychai, tradicii.* [Adyghes, customs and traditions]. Nalchik: El-Fa, 2000. 359 p. (In Russian)

Information about the author

Gutova Lyana Adamovna, candidate of Philological Sciences, Senior Researcher, Sector of the Adyghe Folklore, Institute for Humanitarian Researches – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;
360000, Russia, Nalchik, 18 Pushkin street;
adam.gut@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3072-2234>

Лексико-семантическое поле усилительных конструкций в тюркских языках, образованных по модели полной редупликации

Б. А. Мусуков, Л. М. Кабардокова

Институт гуманитарных исследований –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН
360000, Россия, Нальчик, ул. Пушкина, 18

Аннотация. Статья посвящена полиаспектному исследованию лексико-семантических, словообразовательных, словосложительных, формообразовательных особенностей парно-повторных конструкций в тюркских языках, образованных по модели полного повтора с участием как постпозиционной самостоятельной единицы, так и асемантического аналога без лексического значения, лишь частично влияющего на организацию лексико-семантической структуры ядерного слова, усиливая ее в определенной степени. Рассматриваются порождающие особенности модифицирующих компонентов в лексических единицах трансформированного повтора. В работе анализируются вопросы, связанные с закономерностями номинации удвоенных конструкций, организацией лексико-семантической структуры синтаксических единиц вторичной репрезентации, относящихся к словосочетаниям описательного типа с учетом их стилистической характеристики, объема и структуры парно-повторных основ в синхронном плане. Анализ «сдвоенных наименований» свидетельствует о том, что основы, относящиеся к описательной лексикологии, в которых отмечается смысловая и грамматическая связь между компонентами, выступающими в номинативно-нарицательном значении, являются выразителями, с одной стороны, лексических значений, с другой – словообразовательных, с третьей – словоизменительных, образуя схемы формально-семантических моделей парно-повторных конструкций.

Ключевые слова: трансформированный повтор, порождающие особенности, усилительные конструкции, асемантический аналог, компонентное значение, фоно-морфологический повтор

Поступила 07.10.2022, одобрена после рецензирования 11.10.2022, принята к публикации 14.10.2022

Для цитирования. Мусуков Б. А., Кабардокова Л. М. Лексико-семантическое поле усилительных конструкций в тюркских языках, образованных по модели полной редупликации // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 203–208. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-203-208

Original article

Lexico-semantic field of reinforcement constructions in the Turkic languages formed according to the model of complete reduplication

B.A. Musukov, L.M. Kabardokova

Institute of Humanitarian Researches –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360000, Russia, Nalchik, 18 Pushkin street

Annotation. The article is devoted to a multi-aspect study of lexico-semantic, word-building, word-formative, form-building features of pair-repeated constructions in Turkic languages, formed according to the model of complete repetition, both with the participation of a post-positional independent unit, and an asemantic analogue without a lexical meaning, which only partially affects the organization

of the lexico-semantic structure of the nuclear word, strengthening it to a certain extent. It considers the generative features of the modifying components in the lexical units of the transformed repetition. The paper analyzes issues related to the regularities of the nomination of doubled constructions, the organization of the lexical-semantic structure of syntactic units of secondary representation related to descriptive word combinations, taking into account their stylistic characteristics, volume and structure of paired-repeated stems in a synchronous plan. The analysis of "double names" indicates that the bases related to descriptive lexicology, in which there is a semantic and grammatical connection between the components that act in a nominative-common sense, are, on one hand - exponents of lexical meanings, secondly – derivational meanings, and thirdly – inflectional, forming schemes of formal-semantic models of paired-repeated constructions.

Key words: transformed repetition, generative features, reinforcement constructions, asemantic analogue, component meaning, phono-morphological repetition

Submitted 07.10.2022,

approved after reviewing 11.10.2022,

accepted for publication 14.10.2022

For citation. Musukov B.A., Kabardokova L.M. Lexico-semantic field of reinforcement constructions in the Turkic languages formed according to the model of complete reduplication. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 5 (109). Pp. 203–208. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-203-208

ВВЕДЕНИЕ

При характеристике современных тюркских языков следует обратить внимание на широкое функционирование в системе языков разнообразных структурных типов парно-повторных конструкций, которые выступают как продуктивные способы выражения определенных словообразовательных значений.

Рассматривая причины, обуславливающие появление удвоенных словосочетаний, в работе анализируются некоторые парно-повторные единицы, образованные по модели полного повтора, их специфика и диапазон употребления, фонетические особенности, лексико-грамматическое назначение повторных образований.

Исследование некоторого числа парно-повторных конструкций, являющихся известной разновидностью редупликации качественных прилагательных, показывает особенности их сочетания со звуковым комплексом с особым отзвучием – «словом-эхом», не имеющим самостоятельного значения, рифмующимся или аллитерирующим с ним, обозначающим собирательность, обобщение, осложненные экспрессивной окраской, присущей разговорной речи» [1, с. 60].

Рассмотренные парно-повторные конструкции, представляющие собой сочетание морфологически и синтаксически однородных компонентов, являются в тюркских языках средством словообразования, употребляются в качестве аналитического способа для выражения суммирования значений составных частей: собирательной множественности, интенсивной многократности.

В результате семантического объединения значений компонентов и частого их функционирования отмечаются модифицирующие изменения с дальнейшим переводом отдельных парно-повторных образований в разряд идиом фразеологического типа.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Фоно-морфологические повторы в тюркских языках как разновидность трансформированного повтора, как разновидность полного повтора занимают в их лексике значительное место так же, как и в лексике других разносистемных языков.

Все фоно-морфологические повторы в карачаево-балкарском языке в частности подразделяются на две большие группы: а) фоно-морфологические повторы самостоятельных

слов типа *кынгыр-мынгыр* 'кривой', *татлы-матлы* 'сладкий', *суулу-муулу* 'влажный, невысохший', *жангы-мангы* 'новый', *сары-мары* 'желтые' (все прилагательные употребляются самостоятельно и препозиционно; фоно-морфологический аналог без лексического значения, повторяющий определенную часть опорного слова, употребляется постпозиционно). Среди парно-повторных конструкций, образованных по модели фонеморфологического повтора, встречаются и конструкции, первую часть которых составляют имена существительные, а вторую – звуко-изобразительные слова типа *аркъя-маркъя* 'спина', *аркъян-маркъян* 'аркан, толстая веревка, бечевка, канат', *арпа-марпа* 'ячмень', *арыш-марыш* 'оглобля, дышло'. Все словосочетания употребляются в обобщенно-собирательном значении в отличие от самостоятельного употребления их первых знаменательных компонентов; б) фоно-морфологические повторы, состоящие из звуко-изобразительных слов типа *ох-тых* 'вздыхание', *тынар-тунур* 'подражание топоту', *дыгъарт-мугъур* звукоподражание шуму, грохоту, *дыгъарт-дугъурт* звукоподражание шуму, грохоту, *дынгар-дунгур* звукоподражание шуму, грохоту, *жынгар-жунгур* звукоподражание шуму, грохоту, *тынар-тунур* звукоподражание топоту. Данная модель имеет разнообразные соответствия и параллели в родственных языках. Проблема развития и происхождения данной модели является в целом малоразработанной. Наличие в тюркских языках таких форм, где один и тот же постпозиционный усилитель может присоединяться не только к именам существительным, но и к именам прилагательным с другими анлаутами и слогами, свидетельствует о двух возможных путях его становления и развития: во-первых, вполне вероятно, что перед нами вполне самостоятельная звукоподражательная основа с усилительным значением, сузившимся в процессе исторического развития; во-вторых, возможно также, что этот компонент не является самостоятельной лексемой и его появление есть результат отрыва данного компонента из привычного круга сочетаний. Касаясь данной формы, следует отметить ее довольно широкую распространенность в тюркских языках.

Формы и модели звуко-изобразительных элементов многообразны и охватывают в тюркских языках значительное количество лексических компонентов. В данных языках эти слова (мимемы) занимают значительное место и рассматриваются как усилительные основы.

В карачаево-балкарском языке очень распространен прием усиления лексического значения основы слова посредством ее препозиционного повторения в форме зависимого от нее члена предложения, который отмечается главным образом при именах существительных, прилагательных и глаголах. В отдельных случаях он встречается и среди звукоподражательных слов.

Фонетическая структура парно-повторных слов довольно сложна и требует самостоятельного исследования во всех ее аспектах. Р. А. Аганин отмечает, что «появление удвоенных форм существительных, прилагательных, а также других частей речи исторически могло быть вызвано чисто синтаксическими причинами – необходимостью дифференциации обстоятельственных, атрибутивных и иных функций в разряде слов, представлявших некогда «единую лексико-грамматическую категорию с общими недифференцированными семантико-формальными показателями» и группировавшихся в категории «одной части речи – имени предметов и признаков» [2, с. 51]. Образование парно-повторных слов с помощью примыкания постпозиционного компонента к препозиционному можно рассмотреть как разновидность словосложительного словообразования. Обзор научной литературы о парно-повторных конструкциях свидетельствует о том, что в работах некоторых исследователей по тюркским языкам к категории *парного* слова относятся и *повторы*. При этом, по всей вероятности, обращается внимание на чисто внешние особенности: двучленная структура, принадлежность компонентов к одной и той же части речи. Как полагает С. Н. Муратов, «структура парных слов и повторов, их внутренняя органи-

зация и лексико-грамматическая природа значительно отличаются друг от друга. Под парными словами подразумеваются только такие сложные лексические единицы, компоненты которых являются парными как в фонетическом (ритмико-интонационном) и морфологическом, так и в лексико-семантическом отношении» [3, с. 61].

С точки зрения фонетических особенностей парность удвоенного сложного слова характеризуется еще и тем, что обе составляющие части полностью самостоятельны и «имеют наличие одинаковой интонации, отдельного ударения, аллитерации, конечной или внутренней рифмы» [1, с. 41].

С точки зрения морфологических особенностей оба компонента парно-повторной конструкции представлены одной частью речи и выявляют одинаковые грамматические признаки.

Лексико-семантической особенностью удвоенных конструкций как грамматикализованных сочетаний слов типа повторов разных основ является то, что за счет употребления второго компонента, т.е. редуцирующего слова, отмечаются форма усиления признака, заложенного в препозиционной опорной основе, и такие значения, как значения множественности, многократности, длительности, обобщенной собирательности и силы действия. Парно-повторные слова и редуцированные сочетания разных основ функционируют для определительной характеристики особенностей предметов, явлений и действий.

Следует отметить, что с точки зрения наполняемости лексико-семантической структуры новыми оттенками значений, отличительной особенностью этих двух весьма близких категорий является то, что в редуцированных словосочетаниях, образованных по модели частичного повтора, гораздо больше выражены формы усиления качества и значение собирательной множественности.

Следует обратить внимание на то, что эти синтаксические категории выступают как грамматикализованные устойчивые сочетания слов, обнаруживая лексикализованное значение и выражая одно понятие.

С другой стороны, большая часть этих конструкций выступают в значении компонентов и не могут быть отнесены к категории устойчивых, которые характеризуются в целом наличием модифицирующего значения в единицах трансформированного повтора.

Рассматривая формы отыменных образований в староузбекском языке, А.М. Щербак считает, что «отличительной чертой лексико-грамматической структуры прилагательных является их сочетаемость с морфологическими показателями, выражающими разную степень насыщенности признаком в сравнительном плане и безотносительно к чему-либо...» [4, с. 130]. Текстовые примеры как иллюстративные словосочетания прежде всего выполняют функцию «разграничителя». Иллюстративные словосочетания, среди которых встречаются и неделимые фразеологические единицы, тематически отобранные и повторяющие вышеприведенную информацию, «оживляют» рубрику, конкретизируют семантику парно-повторного слова.

Редуцирующий компонент, являющийся количественно-качественным модификатором опорного слова, усиливает недостаточность признака в нем, его значение. Модификацию значений опорных слов в плане усиления качества можно увидеть в сочетании редуцирующего и препозиционного компонентов. В качестве усилительной конструкции (интенсива) можно привести редуцированную основу *кьалгъан-кьулгъан* из карачаево-балкарского языка с обобщенно-собирательным значением 'отходы, остатки, объедки, отбросы' [5, с. 520]. В этом же значении в балкарском варианте карачаево-балкарского языка употребляется параллельная конструкция *кьалгъан-булгъан* [5, с. 520].

В карачаевском варианте карачаево-балкарского языка *кьалгъан-кьулгъан* не встречается, отмечается только *кьалгъан-булгъан(ла)*: 1) 'объедки, остатки, отбросы'; 2) перен. 'пережитки'; *эски дунияны кьалгъан-булгъанлары* [6, с. 382]. Усилительное словосочетание *кьалгъан-кьулгъан* в балкарском варианте карачаево-балкарского языка употребля-

ется и в переносном значении *‘отребье, подонки, отбросы общества’*, не зафиксированном в толковом словаре.

По мнению Б. А. Мусукова, «усилительная форма, выражающая избыточную меру качества или высокую оценку качества, образуется по модели полной редупликации разных основ, причем повторяющиеся собирательные имена, как правило, не являются синонимами или словами близкого значения. По форме компоненты конструкции рифмуются или аллитерируются. В данном случае собирательное имя *кьалгъан-кьулгъан* является известной разновидностью полной редупликации, когда *кьалгъан* *‘оставшийся’* сочетается со звуковым комплексом («слово – эхо») *кьулгъан*, рифмующимся с ним. Выполняя усилительные функции, так же, как и в карачаево-балкарском, в кумыкском языке встречается словосочетание *кьалгъан-кьулгъан* со значениями *‘остатки, объедки’* [1, с. 66-67]. В карачаево-балкарском языке так же, как и в других тюркских языках, «слово – эхо» (асемантический аналог) является результатом фонеморфологических изменений собирательных имен существительных-повторов. В редуплицированной конструкции *кьалгъан-кьулгъан*, являющейся одновременно и собирательной, изменяется только первый гласный редупликата *a > y*. Форма полной редупликации *кьалгъан-кьулгъан* выступает не только в собирательном значении, но и собирательно-множественном.

В качестве опорного слова в данном случае выступает причастие прошедшего времени, образованное от глагола *кьал* *‘оставаться’* с помощью аффикса *-гъан*.

Семантическая структура опорного слова усиливается за счет сочетания с редупликатом, не имеющим лексического значения.

Выводы

Несмотря на появление в лексико-семантической структуре парно-повторных конструкций дополнительных смысловых оттенков, ощущения значения составных компонентов, «раздельно-оформленности» составных частей, лексико-семантический и лексико-грамматический анализ парно-повторных сочетаний свидетельствует о том, что данные образования входят в разряд сложных слов. В сущности, индивидуальное значение компонентов сохраняется даже в таких парно-повторных конструкциях, как *ата-ана* *‘родители’*, *киши-кьатын* *‘супруги’*, *кече-кюн* *‘сутки’*, *ата-баба* *‘предки’*, которые обозначают не столько *‘родители’*, *‘супруги’*, *‘сутки’*, *‘предки’*, сколько *‘мать-отец’*, *‘муж-жена’*, *‘день-ночь’*, *‘дедушка-бабушка’*.

Анализ лексико-грамматической природы парно-повторных сочетаний в структуре современных тюркских языков показывает закономерности их употребления для выражения новых значений, ранее не известных. О широком использовании парно-повторных конструкций в частности в карачаево-балкарском языке свидетельствует *‘Толковый словарь карачаево-балкарского языка’*, в котором зарегистрировано большое количество аналогичных образований.

Пополнение словаря карачаево-балкарского языка и других тюркских языков арабо-персидскими заимствованиями значительно расширило возможности образования парно-повторных конструкций, сочетаний однородных слов, выявляющих «смешанный» характер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мусуков Б. А. Формально-семантическая парадигма усилительных конструкций в тюркских языках. Нальчик: Принт Центр; Полиграфсервис и Т, 2016. 376 с.
2. Аганин Р. А. Повторы и однородные парные сочетания в современном турецком языке. Москва: Издательство восточной литературы, 1959. 144 с.
3. Муратов С. Н. Устойчивые словосочетания в тюркских языках. Москва: Издательство восточной литературы, 1961. 130 с.

4. Щербак А. М. Грамматика староузбекского языка. М.-Л.: АН СССР, 1962. 274 с.
5. Толковый словарь карачаево-балкарского языка в 3-х томах. Нальчик: Эль-Фа, 2002. Т. 2: 3-Р. 1168 с.
6. Карачаево-балкарско-русский словарь: ок. 30000 слов / под ред. Э. Р. Тенишева и Х. И. Суюнчева. Москва: Русский язык, 1989. 832 с.

Информация об авторах

Мусуков Борис Абдулкеримович, д-р филол. наук, вед. науч. сотр., зав. сектором карачаево-балкарского языка, Институт гуманитарных исследований – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. Пушкина, 18;

bmusukov@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1765-0176>

Кабардокова Лейла Магомедовна, аспирант сектора карачаево-балкарского языка, Институт гуманитарных исследований – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. Пушкина, 18;

kabardokova1988@bk.ru

REFERENCES

1. Musukov B.A. *Formal'no-semanticheskaya paradigma usilitel'nykh konstruksiy v tyurkskikh yazykakh* [Formal-semantic paradigm of amplifying constructions in Turkic languages]. Nal'chik: Print Tsentr; ООО «Poligrafservis i T», 2016. 376 p. (In Russian)
2. Aganin R.A. *Povtory i odnorodnyye parnyye sochetaniya v sovremennom turetskom yazyke* [Repetitions and homogeneous pair combinations in the modern Turkish language]. Moscow: Izdatel'stvo vostochnoy literatury, 1959. 144 p. (In Russian)
3. Muratov S.N. *Ustoychivyye slovosochetaniya v tyurkskikh yazykakh* [Set phrases in Turkic languages]. Moscow: Izdatel'stvo vostochnoy literatury, 1961. 130 p. (In Russian)
4. Shcherbak A.M. *Grammatika starouzbekskogo yazyka* [Grammar of the Old Uzbek language]. М.-Л.: АН СССР, 1962. 274 p. (In Russian)
5. *Tolkovyy slovar' karachayev-balkarskogo yazyka v 3-kh tomakh* [Explanatory dictionary of the Karachay-Balkarian language in 3 volumes]. Nal'chik: El'-Fa, 2002. Vol. 2: 3-R. 1168 p. (Karachay-balkarian)
6. *Karachayev-balkarsko-russkiy slovar': ok. 30000 slov* [Karachay-Balkar-Russian dictionary: approx. 30,000 words] / ed. by E.R. Tenisheva and Kh.I. Suyuncheva. Moscow: Russkiy yazyk, 1989. 832 p. (In Russian)

Information about the authors

Musukov Boris Abdulkerimovich, Doctor of Philological Sciences, Leading Researcher, Head of the Sector of the Karachay-Balkarian language, Institute of Humanitarian Researches – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 18 Pushkin street;

bmusukov@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1765-0176>

Kabardokova Leyla Magomedovna, postgraduate student of the Sector of the Karachay-Balkarian language, Institute for Humanitarian Researches – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 18 Pushkin street;

kabardokova1988@bk.ru

УДК: 811512

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-209-215

Лексикографическая разработка заимствованной лексики из осетинского языка в «Толковом словаре карачаево-балкарского языка»

М. З. Улаков, Л. Х. Махиева

Институт гуманитарных исследований –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН
360000, Россия, Нальчик, ул. Пушкина, 18

Аннотация. В статье проведен анализ осетинских заимствований в карачаево-балкарском языке. Отмечены фонетические (звуковые) изменения, трансформации, которые связаны с фонетическими особенностями карачаево-балкарского языка. В ходе исследования выявлены причины заимствованной лексики. Методологической основой исследования для анализа заимствованной лексики явились работы известных лингвистов, различные источники, а также материалы практической лексикографии «Большой русско-осетинский словарь», содержащий более 60 000 слов и выражений (2011), и первый нормативный филологический «Толковый словарь карачаево-балкарского языка» (в 3 томах). Теоретические положения и выводы, приводимые в работе, представляют интерес в плане сравнительного изучения заимствованной лексики из языков соседних народов.

Ключевые слова: осетинский язык, карачаево-балкарский язык, лексикография, заимствованная лексика, этнокультурные связи, семантика слов, взаимодействие языков, словарный фонд

Поступила 05.10.2022, одобрена после рецензирования 12.10.2022, принята к публикации 14.10.2022

Для цитирования. Улаков М. З., Махиева Л. Х. Лексикографическая разработка заимствованной лексики из осетинского языка в «Толковом словаре карачаево-балкарского языка» // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 209–215. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-209-215

Original article

Lexicographic development of borrowed vocabulary from the Ossetian language in the "Explanatory Dictionary of the Karachay-Balkarian Language"

M.Z. Ulakov, L.Kh. Makhieva

Institute of Humanitarian Researches –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360000, Russia, Nalchik, 18 Pushkin street

Annotation. This article analyzes the borrowed vocabulary from the Ossetian language in the lexicography of Karachay-Balkarian language. Phonetic (sound) changes and transformations associated with the phonetic features of the Karachay-Balkar language are noted. The study revealed the reasons for the borrowed vocabulary. The methodological basis of the research for the analysis of borrowed vocabulary was the works of famous linguists, various sources, as well as dictionaries "The Great Russian-Ossetian Dictionary" containing more than 60,000 words and expressions (2011), and the first normative philological "Explanatory Dictionary of the Karachay-Balkar language" (in 3 volumes). The materials and theoretical provisions presented in the work are of interest in terms of comparative study of borrowed vocabulary from the languages of neighboring peoples.

Key words: Ossetian language, Karachay-Balkar language, lexicography, borrowed vocabulary, ethno-cultural relations, semantics of words, interaction of languages, vocabulary

Submitted 05.10.2022,

approved after reviewing 12.10.2022,

accepted for publication 14.10.2022

For citation. Ulakov M.Z., Makhieva L.Kh. Lexicographic development of borrowed vocabulary from the Ossetian language in the "Explanatory Dictionary of the Karachay-Balkarian Language". *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 5(109). Pp. 209–215. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-209-215

ВВЕДЕНИЕ

Структура языка, его грамматический строй и основной лексический арсенал являются продуктами ряда эпох, и каждый условный срез связан с контактами соседствующих народов и заимствованием определенных языковых средств. Любой конкретный язык на протяжении своей многовековой истории подвергается в той или иной степени иноязычному влиянию. Поэтому правильное понимание и толкование закономерностей карачаево-балкарского языка невозможно без изучения заимствованной лексики. В «Лингвистическом энциклопедическом словаре» под редакцией В. К. Ярцевой дается краткое определение лингвистического термина «заимствования»: «Заимствование – элемент чужого языка (слово, морфема, синтаксическая конструкция и т.п.), перенесенный из одного языка в другой в результате контактов языковых, а также сам процесс перехода элементов одного языка в другой» [1]. Как отмечают лингвисты, заимствования бывают прямые и косвенные (через посредство другого языка), ранние, поздние, устные, письменные, между родственными и неродственными языками. В силу некоторых обстоятельств, связавших судьбы балкарцев, карачаевцев и осетин, карачаево-балкарский язык имел тесные контакты с осетинским языком. Естественно, эти контакты сопровождались их взаимовлиянием и взаимообогащением. Уже само географическое положение Северного Кавказа способствовало тому, что с давних пор развитие экономики, политической и культурной жизни народов, населяющих данный регион, исторически было обусловлено тесными взаимосвязями. Типологическое же сходство материальной и духовной культуры способствовало формированию кавказского менталитета.

Важным моментом процесса консолидации народов Северного Кавказа «явилось взаимопроникновение национальных культур, адаптация этноса в регионе. Национальные языки этих народов всегда служили орудием образования, развития и сохранения всей суммы характерных признаков величайшего общего фонда материальной и духовной культуры» [2, с. 68].

В верованиях карачаевцев и балкарцев, кроме тюркских, большое место отводится и общекавказским элементам. Например, культ бога охоты *Ансаты*, одинаково известный абхазам, осетинам, чеченцам, карачаевцам и балкарцам, «восходит еще к эпохе кобанской культуры» [3, с. 374]. Весьма почитаемыми божествами считались покровитель скотоводства *Аймуш*, божество грома и молнии *Элия*, т.е. христианский пророк *Илья* и другие, имеющие прямые кавказские аналогии.

Масштабы взаимодействия языков зависят от характера контактов между ними. Так, Б. А. Калоев считает, что «полевой этнографический материал показал родство балкарцев и карачаевцев с осетинами в хозяйстве, культуре, в обычаях, нравах и т.д. Эту близость во многом можно объяснить как этническим родством, так и общими традициями этих народов, сложившимися в период их пребывания в горах западной Алании» [4, с. 79].

Большинство исследователей предполагают, что это результат многовековой совместной жизни предков карачаевцев и балкарцев с осетинами, а также тесные торговые и культурные связи Балкарии с Осетией, особенно с Северной. «Кроме того, на отдельных участках

Западного Кавказа имело место балкаро-осетинское, карачаево-осетинское, абхазо-карачаевское, карачаево-сванское, балкаро-кабардинское, кабардино-осетинское, адыгейско-карачаевское и т.д. двуязычие» [5, с. 146].

Описывая этнокультурные взаимодействия карачаевцев, балкарцев и осетин, Н. Х. Биттирова отмечает, что «сравнительно-типологический анализ традиционных культур карачаевцев, балкарцев и осетин свидетельствует о том, что между ними осуществлялись многообразные этнокультурные контакты в самых различных сферах традиционно-бытовой культуры» [6, с. 217].

Об осетинско-балкарских схождениях В. И. Абаев пишет, что «осетинские элементы в карачаево-балкарском языке – не результат новейшего заимствования из современной Осетии, а наследство старого алано-тюркского смешения, происходящего на территории всех ущелий, от Терека до верхней Кубани» [7, с. 275].

По свидетельству М. А. Хабичева, «взаимовлияние карачаево-балкарского и осетинского языков продолжалось до похода Тимура на Аланию. Следовательно, взаимовлиянию подверглись древнекарачаево-балкарский и древнеосетинский языки, что подтверждается структурой, фонетическим рисунком и семантикой заимствованных слов» [5, с. 96]. Постепенно связи между Осетией и Карачаем ослабли, Балкария же, географически соседствующая с Осетией, продолжала иметь тесные экономические и культурные связи, что в свою очередь способствовало пополнению заимствованного словарного фонда у балкарцев.

«Из двухсот с лишним общих осетино-карачаево-балкарских слов, возникших в период совместного проживания дигорцев и цокающе-зокающих балкарцев, примерно третья часть является осетинской» [8, с. 70]. Это свидетельствует об участии в этногенезе балкаро-карачаевцев и осетин различных, но родственных ираноязычных племен [9, с. 108].

Лексикографический материал «Толкового словаря карачаево-балкарского языка» [10–11] свидетельствует о функционировании заимствованных единиц из осетинского языка, которые можно подразделить на следующие тематические группы.

Слова (термины), связанные с природой: осет. *сауэдон* «родник, досл. «черная вода» – карач.-балк. *шаудан* «родник» [12, с. 976]; осет. *хуыр* «щебень, гравий» – карач.-балк. *хуру* «камни, собранные в кучу (обычно при обработке поля)» [12, с. 824] и др.

Названия частей тела человека и животных: осет. *базыг / базуг* «рука выше локтя, плечевая кость» – карач.-балк. *базук* «кость предплечья (овцы)» [9, с. 409]; *билек сюек* «плечевая кость»; осет. *сзуасхола* «пищевод» – карач.-балк. *уихол* (ц.д.) «кишка» [12, с. 731]; осет. *хэмхуттэ* «морда» – карач.-балк. *хамхот / гимхот / гумот* / «морда, рыло» и др.

Слова (термины) зоонимы: осет. *зырнэг* – карач.-балк. *зурнук* «журавль» [9, с. 47]; осет. *уг* – карач.-балк. *уку* «сова» [12, с. 682]; осет. *мэга* «бекас» – карач.-балк. *мыга бёденени тюрлюсю* «вид перепела» [11, с. 947]; осет. *саскэ* «комар», «мелкое насекомое» – карач.-балк. *саскы* «овод» [12, с. 77]; осет. *зумаргъ* – карач. *джумарыкъ тауукъ* – балк. *жумарукъ* «улар, горная индейка» [9, с. 939] и др.

Слова (термины) фитонимы: осет. *муркэ* «калина» – карач. *мурутху* – балк. *мурукку* «калина (ягода)», *мурукку терек* «калина (кустарник)» [11, с. 932–934]; осет. *хъаедур* «фасоль» – карач.-балк. *къудору* «фасоль» [9, с. 683]; осет. *нэзи* «сосна» – карач.-балк. *назы* «ель» [11, с. 972] и др.

Слова (термины) кулинарной лексики: осет. *зэрна* «каша из цельных зерен кукурузы» – карач.-балк. *жырна* 1. блюдо, приготавливаемое из очищенных на ступе зерен кукурузы, иногда с добавлением фасоли. 2. карач. сечка (крупная, чаще кукурузная) [9, с. 992].

Важным видом мучной пищи является «чурек», приготовленный из ячменной, пшеничной и кукурузной муки. По мнению М. А. Хабичева, *гыржын* «чурек» от *кьууур* – «жарить,

«окалять», «печь» + *жын /жеген* «едомое», «съестное», то есть «то, что едят, пожарив», «испеченный хлеб» [5, с. 53]. Отсюда осет. *кэрдзын, кэрдзин* «хлеб не пшеничный (ячменный, кукурузный, просяной)» – балк. *гыржын* «чурек, лепешка» [9, с. 635]; осет. *акки* «яйцо» – карач.-балк. *гаккы* «яйцо» [9, с. 575].

Названия, связанные с домашним хозяйством: осет. *пасха* «ручные грабли» – балк. *басха* «грабли (ручные)» [9, с. 346]; осет. *гом* «закром, амбар» – балк. *гуму* «кладовая, кладовка» [9, с. 346]; осет. *лухдун* «дубина» – балк. *ылытхын* «лом» – карач. *ылыхтын* «лом»; осет. *аххэрзэ* «матица, главная потолочная балка» – карач.-балк. *хырык* «перекладина в сакле» [12, с. 1020] и др.

Наименования, связанные с одеждой и обувью: осет. *цыбыр* «куцый, короткий» – карач.-балк. *чубур* «короткий, куцый» [10, с. 927]; осет. *цында* «носок, чулок» – карач.-балк. *чындай* «чулок, носок» [12, с. 949]; осет. *хал* «травинка, вереница, нитка» – карач.-балк. *халы* «нитка, пряжа» [12, с. 783].

Слова (термины), связанные с заготовкой сена: осет. *бэттэн* «связка» – балк. *батан* «навальник сена» [9, с. 351]; осет. *эфтау* «снопы, уложенные рядами на току для молотьбы» – балк. *антау* «стог, скирда» [11, с. 160]; осет. (диал.) *лэппэр* «охапка сена» – карач.-балк. *лыппыр* «копна маленькая» [11, с. 829] и др.

Различные заимствованные слова (термины): осет. *сынэр/синэр* «жвачка» – карач.-балк. *ышныр* «жвачка» [12, с. 1036]; осет. *чопалэ* «гроздь, кисть» – карач.-балк. *чопал* «кисть, гроздь»; *чомпал* «кисть, бахрома» [12, с. 920]; осет. *саби* «дитя, ребенок» – карач.-балк. *сабий* «ребенок, дитя, малыш» [12, с. 13]; осет. *зынг* «огонь» – карач.-балк. *жинк/зинк* (ц. диал.) «горящий уголек» [9, с. 908]; осет. *нихэс* «речь, слово, беседа, разговор, собрание мужчин аула для обсуждения текущих дел» – карач.-балк. *ныгыши* «место, куда обычно собираются мужчины села для беседы, решения проблем села, отдыха и т.п.» [11, с. 1003].

Из приведенного материала видно, что большинство заимствований карачаевцами и балкарцами освоено в соответствии с фонетическими закономерностями их языка, а именно:

1) с законом сингармонизма, согласно которому в словах и словоформах должны быть гласные только одного ряда, переднего ряда (*и, е (э), ю, ё*) или заднего ряда (*ы, а, о, у*): *зэбы – гыбы /губу* «паук» и др.;

2) происходят в основном следующие звукопереходы: г–к: осет. *эрхотуг* «пепел» – балк. *урходук* «пепел»; э – ы: осет. *тэбын* «шерсть» – карач. *тыбына* «веревочка, сплетенная из шерсти»; с–ш: осет. *сындз* «колючка, терновник, заноза» – карач.-балк. *шинжи* «колючка, заноза» и др.

В некоторых заимствованных словах происходит усечение конечного гласного. Ср.: осет. *куыстелэ* «большая кадка» – балк. *кюштел* (ц. диал.) «кадка, бочка» и др.

При освоении осетинских заимствований исследуемым языком семантика некоторых слов (терминов) подвергается сужению (ср. осет. *тэппал* «волдырь, мозоль, кровоподтек» – карач.-балк. *хыппил/хуппежин/хуппозун* (ц. диал.) «волдырь») или расширению значений их смысла, увеличению количества значений т.е. карачаево-балкарский язык, заимствуя то или иное слово (термин), берет их с одним или несколькими значениями. Ср.: осет. *топп* «ружье, пушка» – балк. *топ* «пушка, орудие, снаряд»; осет. *тыл/тула* «темя у детей» – карач.-балк. *тулу* «родничок (у новорожденного)» и др.

Особо следует обратить внимание на функционирование наряду с исконными тюркскими способами счета так называемого иранского хозяйственного счета, или *эски кьойчу санау* (древний чабанский счет). Ареалом употребления этого счета являются территории распространения *ц-диалекта* карачаево-балкарского языка и *дигорского диалекта* осетинского языка [13, с. 202-204]. Ссылаясь на эти факты, исследователи подтверждают версию о едином географическом регионе Дигории и Черекского ущелья в XVIII веке [14, с. 111].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, лексикографический материал свидетельствует о том, что заметное место в лексике карачаево-балкарского языка занимают заимствования из осетинского языка. В основном осетинские заимствования подчинены фонетическим законам исследуемого языка. Кроме этих лексем, закрепленных в «Толковом словаре карачаево-балкарского языка», имеются еще заимствованные слова (термины) более узкого употребления. Например, как **ыстым кече** «ночь совершения над новорожденным известного обряда», где **ыстым** осет. *эстэм* значит «восьмой», **кече** карач.-балк. «ночь» и др. Вместе с тем следует отметить, что очень много осетинизмов в карачаево-балкарской антропонимии и в карачаево-балкарской топонимике. Например: **Тыжынты** (топоним) – местность в Хуламо-Безенгийском ущелье – осет. *тэдзын* «стекать»; **Курнаят** (топоним) – селище близ с. В. Балкария – осет. *куронват* «место, где мельница»; **Бединокь (Бединок)** (антропоним) – осет. *бедейнаг* «бравый, бедовый, молодой»; **Хахан** (антропоним) – осет. *хэххон* «горный, горский, горец» и др. [15].

Среди балкарцев и карачаевцев много родов, которые имеют осетинское происхождение.

При этом анализ источников показывает, что причинами заимствования являются не только лингвистические, но и в большинстве случаев экстралингвистические факторы, т.е. тесные взаимосвязи между соседствующими народами. Соответственно в осетинский язык также проникло и большое количество исконных карачаево-балкарских слов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лингвистический энциклопедический словарь / под ред. В. Н. Ярцева. Москва: Советская энциклопедия, 1990. 683 с.
2. Улаков М. З., Махиева Л. Х. Проблемы терминологии карачаево-балкарского языка. Нальчик: Редакционно-издательский отдел КБНЦ РАН, 2019. 119 с.
3. Крупнов Е. И. Древняя история Северного Кавказа. Москва: Изд-во АН СССР, 1960. 520 с.
4. Калоев Б. А. Осетинские историко-этнографические этюды. Москва: Наука, 1999. 402 с.
5. Хабичев М. А. Взаимовлияние языков народов Западного Кавказа. Черкесск: Карачаево-Черкесское отделение Ставропольского книжного издательства, 1980. 183 с.
6. Биттирова Н. Х. Этнокультурные взаимодействия карачаевцев, балкарцев и осетин (по материалам традиционно-бытовой и духовной культуры): дисс. ... канд. ист. наук. Нальчик, 2010.
7. Абаев В. И. Осетинский язык и фольклор. М.-Л.: Академия наук СССР, 1949. 275 с.
8. Эбзеева Ф. П. Названия животных и птиц в карачаево-балкарском языке (сравнительно-историческое исследование). Нальчик: Издательский отдел КБИГИ, 2011. 171 с.
9. Бабаев С. К. К вопросам истории, языка и религии балкарского и карачаевского народов. Нальчик: Эльбрус, 2000. 247 с.
10. Толковый словарь карачаево-балкарского языка: в 3-х томах / Под ред. Ж. М. Гусева. Т. 1. Нальчик: Эль-Фа, 1996. 1016 с.
11. Толковый словарь карачаево-балкарского языка: в 3-х томах / Под ред. Ж. М. Гусева. Т. 2. Нальчик: Эль-ФА, 2002. 1171 с.
12. Толковый словарь карачаево-балкарского языка: в 3-х томах / Под ред. А. А. Жаптуева. Т. 3. Нальчик: Эль-ФА, 2005. 1159 с.
13. Улаков М. З. Особенности употребления некоторых разрядов числительных в карачаево-балкарском языке // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. № 6(80). 2017. С. 200–204.

14. Волкова Н. Г. Этнический состав населения Северного Кавказа в XVIII – начале XX века. Москва: Наука, 1974. 276 с.
15. Гацалова Л. Б., Парсиева Л. К. Большой русско-осетинский словарь. Владикавказ, ИПО СОИГСИ, 2011. 687 с.

Информация об авторах

Улаков Махти Зейтунович, д-р филол. наук, глав. науч. сотр., Институт гуманитарных исследований – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

36000, Россия, Нальчик, ул. Пушкина, 18;

maxtti@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5972-8472>

Махиева Людмила Хамангериевна, канд. филол. наук, зам. директора по науч. работе, вед. науч. сотр. сектора карачаево-балкарского языка, Институт гуманитарных исследований – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

36000, Россия, Нальчик, ул. Пушкина, 18;

liudmila.makhiieva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6186-0395>

REFERENCES

1. *Lingvisticheskiy entsiklopedicheskiy slovar'* [Linguistic encyclopedic dictionary] / ed.by V.N. Yartsev. Moscow: Soviet Encyclopedia, 1990. 683 p. (In Russian)
2. Ulakov M.Z., Makhieva L.Kh. *Problemy terminologii karachayevobalkarskogo yazyka* [Problems of terminology of the Karachay-Balkarian language]. Nalchik: Redakcionno-izdatel'skij otdel [Editorial and Printing Department] KBSC of RAS. 2019. 119 p. (In Russian)
3. Krupnov E.I. *Drevnyaya istoriya Severnogo Kavkaza* [Ancient history of the North Caucasus]. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1960. 520 p. (In Russian)
4. Kaloev B.A. *Osetinskiye istoriko-etnograficheskiye etyudy* [Ossetian historical and ethnographic studies]. Moscow: Nauka, 1999. 402 p. (In Russian)
5. Khabichev M.A. *Vzaimovliyaniye yazykov narodov Zapadnogo Kavkaza* [Mutual influence of the languages of the peoples of the Western Caucasus]. Cherkessk: Karachaevo-Cherkesskoe otdelenie Stavropol'skogo knizhnogo izdatel'stva, 1980. 183 p. (In Russian)
6. Bittirova N.Kh. *Etnokul'turnyye vzaimodeystviya karachayevtsev, balkartsev i osetin (po materialam traditsionno-bytovoy i dukhovnoy kul'tury)* [Ethno-cultural interactions of Karachays, Balkars and Ossetians (based on materials of traditional household and spiritual culture)]: diss. ... cand. ist. nauk. Nalchik, 2010. (In Russian)
7. Abaev V.I. *Osetinskiy yazyk i fol'klor* [Ossetian language and folklore]. M.-L.: Akademiya nauk SSSR, 1949. 275 p. (In Russian)
8. Ebzeeva F.P. *Nazvaniya zhivotnykh i ptits v karachayevobalkarskom yazyke (sravnitel'no-istoricheskoye issledovaniye)* [Names of animals and birds in the Karachay-Balkar language (comparative historical study)]. Nalchik: Izdatel'skij otdel KBIGI, 2011. 171 p. (In Russian)
9. Babaev S.K. *K voprosam istorii, yazyka i religii balkarskogo i karachayevskogo narodov* [On the issues of history, language and religion of the Balkar and Karachay peoples]. Nalchik: Elbrus, 2000. 247 p. (In Russian)
10. *Tolkovyy slovar' karachayevobalkarskogo yazyka: v 3-kh tomakh* [Explanatory dictionary of the Karachay-Balkarian language: In 3 volumes] / Ed. by Zh.M. Guzeev. Vol. I. Nalchik: El-FA, 1996. 1016 p. (In Karachay-Balkarian)
11. *Tolkovyy slovar' karachayevobalkarskogo yazyka: v 3-kh tomakh* [Explanatory dictionary of the Karachay-Balkarian language: In 3 volumes] / Ed. by J.M. Guzeev. Vol. 2. Nalchik: El-FA, 2002. 1171 p. (In Karachay-Balkarian)

12. *Tolkovyy slovar' karachayevo-balkarskogo yazyka: v 3-kh tomakh* [Explanatory dictionary of the Karachay-Balkarian language: In 3 volumes] / Ed. by A.A. Zhappuev. Vol. 3. Nalchik: El-FA, 2005. 1159 p. (In Karachay-Balkarian)
13. Ulakov M.Z. Peculiarities of the use of some categories of numerals in the Karachay-Balkarian language. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. No. 6(80). 2017. Pp. 200–204. (In Russian)
14. Volkova N.G. *Etnicheskiy sostav naseleniya Severnogo Kavkaza v XVIII – nachale XX veka* [Ethnic composition of the population of the North Caucasus in the XVIII - early XX centuries]. Moscow: Nauka, 1974. 276 p. (In Russian)
15. Gatsalova L.B., Parsieva L.K. *Bol'shoy russko-osetinskiy slovar'* [Big Russian-Ossetian Dictionary]. Vladikavkaz: IPO SOIGSI, 2011. 687 p. (In Russian)

Information about authors

Ulakov Makhti Zeitunovich, Doctor of Philological Sciences, Chief Researcher, Institute of Humanitarian Researches – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 18 Pushkin street;

maxtti@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5972-8472>

Makhieva Lyudmila Khamangerievna, Candidate of Philological Sciences, Deputy Director for Research, Leading Researcher of the Karachay-Balkarian Language Sector of Institute of Humanitarian Researches – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 18 Pushkin street;

liudmila.makhiieva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6186-0395>

Касболату Фицевичу ДЗАМИХОВУ – 65 лет



Касболат Фицевич Дзамихов – доктор исторических наук, профессор, заслуженный деятель науки Кабардино-Балкарской Республики и Республики Адыгея, академик Адыгской международной академии наук (АМАН), директор Института гуманитарных исследований – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук».

Касболат Фицевич родился 5 октября 1957 г. в селении Каменномостское Зольского района КБР. После окончания в 1978 г. исторического факультета Кабардино-Балкарского госуниверситета начал свою трудовую деятельность в качестве преподавателя истории и обществоведения в средней школе.

В 1979 г. его пригласили в Кабардино-Балкарский научно-исследовательский институт истории, филологии и экономики, где он проработал до 1992 г., пройдя путь от младшего до старшего научного сотрудника и заведующего сектором истории.

В 1981–1984 гг. учился в аспирантуре Института истории АН СССР, по окончании которой защитил кандидатскую диссертацию по теме «Отечественная историография социально-экономического строя Кабарды XVIII – первой половины XIX века».

С 1992 года Касболат Фицевич работал в КБГУ на кафедре истории и этнографии народов КБР, сначала в должности старшего преподавателя, доцента, а затем – заместителя директора по науке Социально-гуманитарного института КБГУ, заведующего кафедрой отечественной истории КБГУ. В 2001 году Касболат Фицевич защитил докторскую диссертацию по теме «Адыги в политике России на Кавказе (1550–1770-е гг.)». В 2002 году ему присвоено звание профессора по кафедре отечественной истории.

В июне 2014 г. К. Дзамихов назначен и.о. директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института гуманитарных исследований Кабардино-Балкарского научного центра РАН. В 2016 г. решением Ученого совета КБНЦ РАН избран, а в 2022 г. переизбран на эту должность.

Касболат Фицевич является автором свыше 180 научных публикаций, среди которых монографические исследования: «Отечественная историография социально-экономического строя Кабарды в прошлом» (М., 1984); «Адыги – вехи истории» (Нальчик, 1994); «Кабарда во взаимоотношениях России с народами Кавказа, Поволжья и Крымским ханством (середина XVI – конец XVIII вв.)» (Нальчик, 1997, в соавторстве); «Адыги и Россия (формы исторического взаимодействия)» (М., 2000); «Адыги в политике России на Кавказе (1550-е – начало 1770-х гг.)» (Нальчик, 2001); «Адыги: борьба и изгнание» (Нальчик, 2005); «Кабарда и Россия в политической истории Кавказа XVI – XVII вв. (исследования и материалы)» (Нальчик, 2007); «Адыги – вехи истории». Адыгская историческая серия (Нальчик, 2008); «Нетрадиционные религиозные движения в современном российском обществе (на примере Кабардино-Балкарской Республики)» (Нальчик, 2013); «Из документальной истории Кавказской войны: «Декларация Черкесской Независимости» (Нальчик, 2014); «В службе и обороне...». Кабарда и Российское государство: эпоха военно-политического

сотрудничества (1550-е – начало 1770-х годов) (Нальчик, 2017); «Века совместной истории: народы Кабардино-Балкарии в российском цивилизационном процессе (1557–1917 гг.)» / руководитель научного проекта, составитель, редактор и автор введения, заключения, гл. 1–3 (колл. монография) (Нальчик, 2017); «Народы Кабардино-Балкарии и Россия в политической истории Кавказа (середина XVI – первая половина XIX в.)». Сборник документов и материалов (Нальчик, 2017); «Адыги (черкесы) в истории России XVI–XVIII вв. История в лицах» (Нальчик, 2018); «Россия и народы Северного Кавказа в 16 – середине 19 века: социокультурная дистанция и движение к государственно-политическому единству» / руководитель научного проекта, автор гл. 1–4 и заключения (колл. монография) (Нальчик, 2018); «Из документальной истории Кавказа: кабардино-русские отношения XVI–XVIII вв. в работах П. Юдина» / сост. и автор вводной статьи (Нальчик, 2019); «Ногмов Ш. Б. Исторические и филологические труды» / руководитель научного проекта, составитель и автор вводной статьи. Т. 1–4 (Нальчик, 2020); «Кабардино-Балкария – республика в составе Российской Федерации (1922–2022 гг.)» / в соавторстве (Нальчик, 2022) и др.

Круг научных интересов: история взаимоотношений кавказских народов в прошлом; адыги в системе международных взаимоотношений в XVI–XIX вв.; историография и источниковедение истории народов Северного Кавказа.

В исследованиях К. Ф. Дзамихова затрагивается существенный аспект той эпохи адыгской истории (XVI–XVIII вв.), которая демонстрирует как зрелость форм территориальной, социальной и политической организации для традиционного адыгского мира, так и автономность протекания процессов его социально-политического развития. Возможно, это был последний (или даже единственный) период адыгской истории, применительно к которому поддается вычислению и самостоятельному анализу сфера политических отношений адыгского общества как форма внешней социально-политической среды. В свою очередь выдвижение на первый план в политической истории адыгов проблематики их взаимоотношений с Россией и анализ ее в общем контексте политики Российского государства на Кавказе объективно оправданы не только с позиции исторической ретроспективы, но и с точки зрения актуальных проблем и перспектив консолидации федеративной государственности современной России.

Среди концепций, выдвинутых К. Ф. Дзамиховым, особое место занимает положение, что с середины XVI и до последней четверти XVIII века развивался длительный, противоречивый и не всегда поступательный процесс политического сближения и взаимодействия адыгов и России как самостоятельных исторических субъектов; это взаимодействие по своим функциям приобретало в ряде случаев характер военно-политического союза, направленного против общей внешней угрозы, а во внутрорегиональном плане способствовало установлению и стабильному поддержанию связей России с народами Кавказа и Степного Предкавказья благодаря политическому влиянию в регионе и посредничеству Кабарды. Вместе с тем нараставшее, а с начала XVIII века ставшее скачкообразным расхождение и как следствие стадийное несоответствие социально-политических и культурных систем России и традиционного адыгского мира, наряду с кардинальными геополитическими сдвигами в регионе, подготовили переход от политического взаимодействия к открытому военному утверждению России на Кавказе.

К. Ф. Дзамихов является членом авторского коллектива и руководителем отдельных разделов многочисленных обобщающих трудов: главный редактор журнала «Вестник ИГИ КБНЦ РАН» (Нальчик); член редколлегии журналов «Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН» (Нальчик), «Известия Владикавказского научного центра РАН» (Владикавказ), «Всеобщая история» (Москва), «История науки и техники» (Москва), «Кавказология» (Нальчик).

Касболат Фицевич совмещает научную и организационную работу в КБНЦ РАН с

преподавательской деятельностью в КБГУ, являясь профессором кафедры всеобщей истории. С 2003 г. по настоящее время – председатель диссертационного совета по защите докторских диссертаций Д 212.076.03 при Кабардино-Балкарском государственном университете им. Х. М. Бербекова.

К. Ф. Дзамихов занимается и общественной деятельностью, являясь избранным депутатом Парламента КБР V и VI созывов и выполняя функции заместителя председателя комитета по законодательству, государственному строительству и местному самоуправлению Парламента КБР.

Научная и общественная деятельность ученого получила достойную оценку и признание.

В 2002 г. в составе научной группы за цикл работ конца 1990-х – начала 2000-х гг. К. Ф. Дзамихов удостоен Государственной премии КБР в области науки и техники. В 2017 г. две монографии («В службе и обороне...» Кабарда и Российское государство: эпоха военно-политического сотрудничества (1550-е – начало 1770-х годов) (Нальчик, 2017) и «Века совместной истории: народы Кабардино-Балкарии в российском цивилизационном процессе (1557–1917 гг.)» (Нальчик 2017)), подготовленные под его руководством и с его участием, получили диплом I первой степени и звание лауреата Международного конкурса научных работ им. Ю. А. Жданова.

К. Ф. Дзамихов награжден почетными грамотами Кабардино-Балкарской Республики, Министерства образования, науки и по делам молодежи Правительства КБР, Парламента КБР, Российской академии наук, Благодарностью Главы КБР, медалью «За безупречный труд и отличие» Минобрнауки РФ.

Пользуясь случаем, коллеги и друзья поздравляют Касболата Фицевича с 65-летием и желают ему крепкого здоровья, благополучия и новых творческих успехов!

Юрию Соломоновичу Попкову – 85 лет



Юрий Соломонович Попков – крупный ученый, специалист в области информационных технологий и автоматизации сложных систем, автор более 150 научных работ, в числе которых 10 монографий.

Ю. С. Попков основал научную школу в области автоматизации и математического моделирования сложных стохастических систем. Им были предложены эффективные методы исследования динамики стохастических систем с разрывными нелинейностями, которые активно развиваются в теории оптимизации и идентификации стохастических динамических систем.

Свою трудовую карьеру начал в Институте автоматики и телемеханики АН СССР (ныне – Институт проблем управления) в лаборатории Я. З. Цыпкина.

С 1976 г. работает в Институте системных исследований АН СССР (ныне – Институт системного анализа РАН – ИСА РАН), возглавив сначала созданную им лабораторию динамики макросистем, а затем отдел моделирования и управления макросистемами. С 1990-го по 2002 г. Ю. С. Попков – заместитель директора по науке ИСА РАН. В 2000 г. Юрия Соломоновича Попкова избирают членом-корреспондентом РАН, а в 2002 г. назначают директором ИСА РАН.

В последние 5 лет Ю. С. Попков занимается изучением динамических систем с дуальными свойствами (стохастическими и детерминированными). Им предложен новый подход в автоматизации и моделировании, основанный на макросистемном представлении процессов дуальной природы. Разработаны методы качественного анализа моделей (поиска равновесий, устойчивости, бифуркаций, робастности и чувствительности, идентификации параметров), новый класс численных методов (мультипликативных), ориентированных на специфику разработанных моделей, математическое, программное и информационное обеспечение человеко-машинных систем, предназначенных для моделирования и анализа макросистем. Ю. С. Попков вносит большой вклад в укрепление и развитие международного научного сотрудничества, активно участвуя в международных исследованиях по разработке информационных технологий распределенного моделирования, пространственной динамики социально-экономических систем, экономических механизмов миграции. В рамках проекта Европейского Союза «Население Европы в III тысячелетии» Ю. С. Попковым разработана математическая модель для прогнозирования динамики населения ЕС. Им были подготовлены соглашения о научно-техническом сотрудничестве ИСА РАН с университетами Штутгарта (Германия), Северной Каролины (США), Национальным научным фондом Нидерландов, Академией наук Болгарии. Ю. С. Попков является членом многих международных и национальных научных сообществ и комиссий в России, США, Германии, Китае, Казахстане, Нидерландах, Болгарии. Ю. С. Попков уделяет значительное внимание решению прикладных задач. Он является лидером проводимых в Институте системного анализа работ по моделированию и анализу развития городских и региональных систем, результаты которых внедрены в градостроительную политику и региональное управление многих регионов и городов России, в том числе при его участии создана компьютерная система для анализа транспортных потоков в Москве и Московском регионе. Важное

прикладное значение получили научные результаты Ю. С. Попкова в области компьютерной томографии. Им разработаны оригинальные модели и методы восстановления изображений по проекциям. Ю. С. Попков много времени и сил уделяет научно-организационной работе в Институте системного анализа Российской академии наук. Он инициирует постановку новых задач, адекватных очередным вызовам времени, стремится обеспечить проведение исследований в институте современной научно-технической базой, поддерживает творческую молодежь, проявляет высокую требовательность к организации работ и их конечным результатам. Ю. С. Попков ведет педагогическую деятельность, заведует кафедрой «Системные исследования» Московского физико-технического университета, является профессором Российской экономической академии, членом специализированных докторских советов при Институте системного анализа РАН и Московском университете стали и сплавов.

Ю. С. Попков подготовил 40 кандидатов и 12 докторов наук. Он почетный профессор Казахского национального технического университета им. К. И. Сатпаева. Является членом редколлегии журнала «Автоматика и телемеханика» РАН, заместителем главного редактора журнала «Информационные технологии и вычислительные системы» РАН.

Коллектив редакционной коллегии КБНЦ РАН поздравляет Юрия Соломоновича с прекрасным юбилеем, желает доброго здоровья, благополучия и много сил для дальнейшей плодотворной деятельности на благо российской науки!

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ АВТОРАМИ В ЖУРНАЛ «ИЗВЕСТИЯ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН»

1. Журнал «Ивестия Кабардино-Балкарского научного центра РАН» публикует оригинальные научные, обзорные, аналитические статьи отечественных и зарубежных авторов, рецензии на книги и статьи, персоналии по следующим группам специальностей:

1.1. Математика и механика; 1.2. Компьютерные науки и информатика; 1.3. Физические науки; 1.6. Науки о Земле и окружающей среде; 2.3. Информационные технологии и телекоммуникации; 4.1. Агронмия, лесное и водное хозяйство; 4.2. Зоотехния и ветеринария; 5.2. Экономика; 5.4. Социология; 5.5. Политические науки; 5.6. Исторические науки; 5.9. Филология.

Журнал предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов, студентов. Периодичность – шесть выпусков в год. Журнал публикует статьи на русском и английском языках объемом не менее 8 и не более 20 страниц. Работы, превышающие объем, принимаются к публикации по специальному решению главного редактора журнала.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по научным специальностям и соответствующим им отраслям науки: 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки), 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки).

2. К публикации в журнале «Ивестия Кабардино-Балкарского научного центра РАН» принимаются статьи, содержащие новые результаты. Статьи должны быть посвящены актуальным проблемам науки, содержать **четкую** постановку цели и задач исследования, строгую научную аргументацию, обобщения и выводы, представляющие интерес своей новизной, научной и практической значимостью. Журнал также публикует специальные выпуски, посвященные конференциям разного уровня по тематике журнала, обзорные статьи. Не допускается направление в редакцию статей, уже опубликованных или посланных на публикацию в другие журналы. Результаты иных авторов, использованные в статье, следует должным образом отразить в ссылках. Представляя статью в журнал, авторы обязаны выполнять все требования по оформлению. Все соавторы статьи предоставляют авторское соглашение (приложение 1).

3. Направляя статью в журнал, каждый из авторов подтверждает, что она соответствует наивысшим стандартам публикационной этики для авторов и соавторов, разработанным COPE (Committee on Publication Ethics), см. <http://publicationethics.org/about>. Всем статьям, опубликованным в журнале, присваиваются идентификаторы цифрового объекта (DOI) для лучшего поиска и идентификации. Поступающие в редакцию статьи проходят проверку на плагиат через систему *Антиплагиат* (<https://www.antiplagiat.ru>), для принятия они должны иметь не менее 75% уникальности текста.

4. Принятые к публикации в журнале «Ивестия Кабардино-Балкарского научного центра РАН» статьи проходят двойное слепое рецензирование, редакционную подготовку, после чего окончательный макет направляется на корректуру. Окончательный вариант предоставляется автору на вычитку.

5. Полнотекстовые версии статей, публикуемых в журнале, размещаются в Интернете в свободном доступе на сайте Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU, Киберленинка. Статьи по математике, физике, информатике, математическому моделированию в экономике и по наукам о земле размещаются на сайте www.mathnet.ru (<http://www.mathnet.ru/php/journal.phtml?jrnid=izkab&optionlang=rus>).

6. Публикации в журнале для сотрудников КБНЦ РАН бесплатные, для сторонних авторов – 500 руб. за страницу. Для рецензентов (не членов редколлегии) предусмотрены льготы для опубликования.

7. Требования к рукописи статьи. Материалы предоставляются в редакционно-издательский отдел. Все страницы, включая рисунки, таблицы и список литературы, следует пронумеровать. В тексте статьи **обязательно** указывается:

- УДК <https://teacode.com/online/udc/>; ORCID; тип статьи (научная, обзорная, аналитическая,...); коды JEL (специальность 5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике); MSC2020 (по специальностям в области математики, информатики, физики);

- название статьи на русском и английском языках;

- фамилия и инициалы автора (авторов) на русском и английском языках; электронная почта авторов (если несколько авторов, то указать * автора, ответственного за переписку);

- полное официальное название учреждения с указанием полного почтового адреса на русском и английском языках, адрес электронной почты (E-mail) **организации**;

- аннотация на русском и английском языках – не более 150-250 слов, в ней четко должны отражаться новизна, актуальность и методика научного исследования;

- ключевые слова на русском и английском языках – не более 10-15 слов;

- основной текст статьи (примерная схема): введение, цели и задачи исследования, методы исследования, результаты исследования, выводы (заключение).

В аннотации не допускается использование громоздких формул, ссылок на текст работы или список литературы.

Сведения об авторах: фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, должность, название подразделения, полное название места работы (может быть более одного), рабочий адрес, контактный телефон.

8. Список литературы должен содержать только те источники, на которые имеются ссылки в тексте работы, расположенные в порядке цитирования, и не более 20. Ссылки на неопубликованные работы, результаты которых используются в доказательствах, не допускаются. Недопустимо использование ссылок на авторефераты, диссертации, газеты, интернет-сайты журналов, электронные газеты. Список литературы печатается в конце статьи, оформляется в соответствии с правилами, предусмотренными журналом. Все остальные источники, использованные при написании статьи, выносятся в сноски в конце каждой страницы (при необходимости). В списке литературы необходимо указывать не менее 25 % от общего количества источников за последние 5 лет (как самого автора, так и сторонних авторов, работающих в данном направлении). Исключение составляют статьи, которые посвящены исследованиям конкретных документов.

В списке литературы должны быть указаны источники по образцу:

• статья – Фамилия И.О. Название статьи // Название журнала. Год. Том. Номер. С. ...-... DOI...

• книга – Фамилия И.О. Название книги: монография. том *. Город: Издательство, Год. ... с.

• коллективная монография – Название книги / Фамилия И.О. автора; под ред. Фамилия И.О. Город: Издательство, Год. ... с.

• статья в сборнике конференций – Фамилия И.О. Название статьи // Название конференции: материалы конференции * / Название организации. Город, Год. С. ...-... DOI...

• статья в электронном издании – Фамилия И.О. Название статьи [Электронный ресурс] // Название журнала, Год. Том. Номер. С. ...-... URL:... (дата обращения: число, месяц, год).

9. Список литературы **полностью** дублируется на **английском языке** независимо от того, имеются в нем иностранные источники или нет.

Пояснения по формированию списка литературы и References.

Если статья, на которую указывает ссылка, была переведена на английский язык и опубликована в английской версии журнала, необходимо указывать ссылку из переводного источника! Указания (учебное пособие, монография, перевод, количество томов и т.д.)

в References можно опускать. При цитировании оригинального источника на английском языке в названии с прописной буквы пишется первое слово. В названии журнала пишется каждое полнозначное слово с прописной буквы.

Библиографические описания публикаций в References составляют в следующей последовательности:

журнальная статья

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie stat'i [Title of article]. Zaglavie jurnala [Title of Journal]. Year. Vol. ... No. ...iss. ... Pp. ...-... (In Russian);

монография, книга, глава из книги, препринт

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie [Title of book]. Gorod, Izdanie. Year. Pages p. (In Russian);

статья в материалах конференции

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie [Title of paper]. Nazvanie konferensii. Gorod, Organizacia. Year. Pages p. (In Russian);

статья в электронном издании

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie [Title of paper]. Nazvanie zhurnala, Year, Pages p, available at: [http...](http://...) (accessed Data Year).

Журнал «Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН» при оформлении руководствуется ГОСТ 7.0.7 – 2021, ГОСТ Р 7.0.12.

На сайте <http://www.translit.ru/> можно бесплатно воспользоваться программой транслитерации русского текста в латиницу. Для этого, выбрав вариант системы **Board of Geographic Names (BGN)**, получаем изображение всех буквенных соответствий.

10. Требования к электронному носителю:

- к статье прилагается электронный вариант в формате Microsoft Office Word 2007, Windows XP, Windows 7, 10;

- статья должна быть набрана в формате А4 с полями: верхнее и нижнее – 2,0 см; левое – 2,5 см; правое – 2 см;

- статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 14, полуторный интервал;

- таблицы, алгоритмы, рисунки, схемы и т.п. должны быть выполнены в формате А4 книжной ориентации.

11. Решение о публикации или отклонении авторских материалов принимается редколлегией в соответствии с правилами рецензирования статей. Для экспертной оценки статей привлекаются ведущие специалисты по основным научным направлениям (рубрикам) выпуска журнала.

12. Редакция не вступает в дискуссию с авторами отклоненных материалов.

13. В каждом выпуске публикуется, как правило, не более одной статьи одного и того же автора.

14. Статьи, оформленные без соблюдения указанных правил, не рассматриваются.

FORMATTING RULES FOR ARTICLES TO BE SUBMITTED BY AUTHORS TO THE JOURNAL "NEWS OF THE KABARDINO-BALKARIAN SCIENTIFIC CENTER OF RAS"

1. The journal «**News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS**» publishes original scientific, review, analytical articles by domestic and foreign authors, reviews of books and articles, personalities in the following groups of specialties:

1.1. Mathematics and Mechanics; 1.2. Computer Science and Informatics; 1.3. Physical Sciences; 1.6. Earth and Environmental Sciences; 2.3. Information Technologies and Telecommunications; 4.1. Agronomy, Forestry and Water management; 4.2. Zootechnics and Veterinary Medicine; 5.2. Economics; 5.4. Sociology; 5.5. Political Sciences; 5.6. Historical Sciences; 5.9. Philology.

The journal is intended for researchers, teachers, postgraduate students, undergraduates, students. Frequency – six issues per year. The journal publishes articles in Russian and English with a volume of no less than 8 and no more than 20 pages. Papers exceeding that volume may be accepted for publication by special decision of the Editor-in-chief of the journal.

The journal is included in the List of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for the degree of candidate of science, for the degree of doctor of science in scientific specialties and their respective branches of science should be published: 2.3.1. System analysis, management and information processing, statistics (technical sciences), 4.1.1. General agriculture and crop production (agricultural sciences).

2. Articles are accepted for publication in the journal «**News of the Kabardino-Balkarian scientific center of RAS**» if they contain new results. Articles should be devoted to topical problems of science, contain a **clear** statement of the goal and objectives of the study, rigorous scientific argumentation, generalizations and conclusions that are of interest for their novelty, scientific and practical significance. The journal also publishes special issues devoted to conferences of various levels on the subjects of the journal, review articles. It is not allowed to send to the editorial office articles that have already been published or sent for publication to other journals. The results of other authors used in the article should be duly reflected in the references. Submitting an article to the journal, authors are obliged to fulfill all the requirements for their formatting.

3. By submitting an article to the journal, each author confirms that it meets the highest standards of publication ethics for authors and co-authors, developed by COPE (Committee on Publication Ethics), see <http://publicationethics.org/about>. All articles published in the journal are assigned digital object identifiers (DOIs) for better search and identification. Articles submitted to the editorial office are checked for plagiarism through the *Antiplagiat* system (<https://www.antiplagiat.ru>); for acceptance they must have at least 75% of the uniqueness of the text.

4. Articles accepted for publication in the journal «**News of the Kabardino-Balkarian scientific center of RAS**» undergo double blind peer review, editorial preparation, after which the final layout is sent for correction. The final version is provided to the author for proofreading.

5. Full-text versions of articles published in the journal are posted on the Internet in free access on the website of the Scientific Electronic Library eLIBRARY.RU. Articles on mathematics, physics, computer science, mathematical modeling in economics and geosciences are posted on the website www.mathnet.ru (<http://www.mathnet.ru/php/journal.phtml?jrmid=izkab&optionlang=rus>).

6. Publications in the journal for KBSC RAS employees are free, for outside authors – 500 rubles per page. For reviewers (not members of the editorial board) privileges for publication are provided.

7. Requirements for the manuscript of the article. Materials are submitted to the Editorial and Publishing Department. All pages, including figures, tables and references, should be numbered. The following indications in the text of the article are **mandatory**:

- UDC <https://teacode.com/online/udc/>; ORCID; type of article (scientific, review, analytical, ...); JEL codes (specialty 5.2.2. Mathematical, statistical and instrumental methods in Economics); MSC2020 (for specialties in Mathematics, Computer Science, Physics);
- the title of the article in Russian and English;
- surname and initials of the author(s) in Russian and English; e-mail of authors (if there are several authors, then indicate * the author responsible for the contact correspondence);
- the full official name of the institution, indicating the full postal address in Russian and English, the electronic mail address (E-mail) of the **organization**;
- annotation in Russian and English – no more than 150-250 words; it should clearly reflect the novelty, relevance and methodology of scientific research;
- keywords in Russian and English – no more than 10-15 words;
- main text of the article (approximate scheme): introduction, goals and objectives of the research, research methods, research results, conclusions.

The annotation should not contain cumbersome formulas, references to the text of the work or the list of references.

Information about the authors: last name, first name, patronymic, academic degree, academic title, position, department name, full name of the place of work (there may be more than one), work address, contact phone number.

8. The list of references should contain only those sources to which there are references in the text of the work, arranged in the order of citation, no more than 20 altogether. References to unpublished works, the results of which are used in the proofs, are not allowed. It is unacceptable to use links to abstracts, dissertations, newspapers, websites of journals, electronic newspapers.

The list of references is printed at the end of the article, drawn up in accordance with the rules provided by the journal. All other sources used in the article are placed in footnotes at the end of each page (if necessary). At least 25% of the total number of sources in the list of references should be of the last 5 years (both the author's himself and other authors working in this direction). The exception is made for articles that are devoted to the study of specific documents.

In the list of references, sources should be indicated according to the sample:

- article – Surname and initials of the name and patronymic. Title of the article // Title of the journal. Year. Volume. Number. Pp. ... - ... DOI ...
- book – Surname and initials of the name and patronymic. Book title: monograph. volume *. City: Publisher, Year. ... p.
- collective monograph – Title of the book / Surname and initials of the name and patronymic of the author; editor - Surname and initials of the name and patronymic. City: Publisher, Year. ... p.
- article in the collection of conference materials – Surname and initials of the name and patronymic. Title of the article // Title of the conference: materials of the conference * / Name of the organization. City, Year. Pp. ... - ... DOI
- article in the electronic edition – Surname and initials of the name and patronymic, The title of the article [Electronic source] // Journal name, Year. Volume. Number. Pp.... -... URL:... (date of access: date, month, year).

9. The list of references is **fully** duplicated in **English**, regardless of whether it contains foreign sources or not. The References list is used by international bibliographic databases (Scopus, WoS, etc.) to keep track of citations of authors.

Explanations on the formation of the list of literature and References.

If the article to which the reference points was translated into English and published in the English version of the journal, you must provide the link from the translated source! Descriptions (tutorial, monograph, translation, number of volumes, etc.) in References may be omitted. When

citing an original source in English, the first word is capitalized in the title. Each full-valued word is capitalized in the title of the journal.

Bibliographic descriptions of publications in References are in the following sequence:

magazine article

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie stat'i [Title of article]. Zaglavie jurnala [Title of Journal]. Year. Vol. ... No. ... issue. ... Pp. ...-... (In Russian);

monograph, book, chapter from a book, preprint

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie [Title of book]. Gorod [City], Izdanie [Publisher]. Year. Pages p. (In Russian);

article in conference materials

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie [Title of paper]. Nazvanie konferensii [Title of the conference]. Gorod [City], Organizacia [Organization]. Year. Pages p. (In Russian);

article in electronic edition

Author A.A., Author B.B., Author C.C. Nazvanie [Title of paper]. Nazvanie zhurnala [Title of journal], Year, Pages p, available at: <http...> (accessed Data Year).

The journal «News of the Kabardino-Balkarian scientific center of RAS» is formatted according to State Standard GOST 7.0.7 - 2021, GOST R 7.0.12.

On the site <http://www.translit.ru/> you can use the program of transliteration of the Russian text into the Latin alphabet for free. For this, choosing the option of the **Board of Geographic Names (BGN)** system, one can get an image of all letter matches.

10. Requirements for electronic media:

- an electronic version in the format of Microsoft Office Word 2007, Windows XP, Windows 7, 10 is attached to the article;

- the article should be typed in A4 format with margins: top and bottom – 2.0 cm; left – 2.5 cm; right – 2 cm;

- the article should be typed in Times New Roman, size 14, one and a half spacing;

- tables, algorithms, figures, diagrams, etc. must be in A4 format, portrait orientation.

11. The decision to publish or reject author(s) materials is made by the editorial board in accordance with the rules for reviewing articles. Leading experts in the main scientific directions (headings) of the journal are involved in the expert assessment of the articles.

12. The editorial office does not enter into discussions with the authors of the rejected materials.

13. As a rule, no more than one article by the same author is published in each issue.

14. Articles violating these formatting rules are not considered.

Научный журнал

**ИЗВЕСТИЯ
КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО
НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН**

№ 5 (109) 2022

Журнал входит в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени доктора и кандидата наук»

Зав. редакционно-издательским отделом КБНЦ РАН – *А. М. Бейтуганова*

Компьютерная верстка – *А. И. Токова*

Техническое редактирование – *А. И. Токова*

Корректор – *Л. Б. Канукова*

Перевод – *Б. Ч. Кудаев*

Подписано в печать 31.10.2022 г. Дата выхода в свет: 15.11.2022 г.

Формат бумаги 60x84 ¹/₈. Бумага офсетная.

Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 26.5. Тираж 300 экз.

Цена свободная

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-14936 от 20.03.2003 г. в Министерстве Российской Федерации
по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций

Учредитель: Кабардино-Балкарский научный центр РАН

Адрес редакции и издателя: 360010, КБР, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2
Отпечатано в редакционно-издательском отделе КБНЦ РАН по адресу:
360010, КБР, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2