

ISSN 0016-7762 (Print)
ISSN 2618-8708 (Online)

2022

Том 64, № 1
Vol. 64, #1

PROCEEDINGS OF HIGHER
EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY AND EXPLORATION

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

1

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ)

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
ГЕОЛОГИЯ
И РАЗВЕДКА
Научно-методический журнал

Том 64, № 1
2022

Журнал издается с января 1958 г.
Периодичность: 6 раз в год

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRU)

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY
AND
EXPLORATION
Scientific methodological journal

Vol. 64, No. 1
2022

The journal has been published since 1958
Frequency: Bimonthly

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

В журнале «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка» публикуются статьи, содержащие результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в вузах и научно-исследовательских учреждениях, геолого-разведочных предприятиях, а также в порядке личной инициативы авторов. Печатаются обзорные статьи, освещающие современное состояние актуальных проблем геологической науки и геолого-разведочной практики, материалы научных конференций, симпозиумов и совещаний. Журнал пропагандирует передовой производственный опыт.

Журнал «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка» за более чем 60 лет своей деятельности утвердил себя как одно из ведущих и авторитетных научных периодических изданий в области наук о Земле. Он действительно участвует в решении научно-технических проблем, пропагандирует новейшие достижения и укрепляет авторитет вузовской и отраслевой науки в области геологии, способствует повышению уровня подготовки высококвалифицированных инженерных, научных и педагогических кадров.

Главный редактор

Керимов Вагиф Юнус оглы, заслуженный геолог Российской Федерации, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Российский государственный геолого-разведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Заместители главного редактора

Кузнецов Николай Борисович, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, Геологический институт Российской академии наук, г. Москва, Россия

Попов Юрий Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор, Сколковский институт науки и технологий, г. Москва, Россия

Члены редакционной коллегии

Гаранин Виктор Константинович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана РАН, г. Москва, Россия

Дроздов Дмитрий Степанович, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт криосферы Земли Сибирского отделения РАН, г. Тюмень, Россия

Дронов Андрей Викторович, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

Игнатьева Маргарита Николаевна, доктор экономических наук, профессор, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Леонов Михаил Георгиевич, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

Маслов Андрей Викторович, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия

Марин Юрий Борисович, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Петров Владислав Александрович, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, директор Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва, Россия

Плечов Павел Юрьевич, доктор геолого-минералогических наук, директор, Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана, г. Москва, Россия

Самсонов Александр Владимирович, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва, Россия

Семинский Константин Жанович, доктор геолого-минералогических наук, Институт земной коры Сибирского отделения РАН, г. Иркутск, Россия

Тихоцкий Сергей Андреевич, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

Толстов Александр Васильевич, заслуженный геолог Российской Федерации, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Акционерная компания АЛРОСА (ПАО), Республика Саха (Якутия), г. Мирный, Россия

Фридовский Валерий Юрьевич, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор, Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН, г. Якутск, Россия

Серов Сергей Геннадьевич, ответственный секретарь, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Иностранные члены редакционной коллегии

Амро Мухамед Муса, PhD, директор Института бурения и добычи, Технический университет «Горная академия Фрайберг», г. Фрайберг, Германия

Баосун Ма, PhD, профессор, профессор и руководитель аспирантов, Университет Сунь Ятсена, г. Гуанчжоу, Китай

Вердоа Массимо, PhD, профессор, Университет Генуи, г. Генуя, Италия

Гулиев Ибрагим Саид оглы, академик НАН Азербайджана, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Национальная академия наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Етирмишли Гурбан Джалал оглы, член-корреспондент НАН Азербайджана, доктор геолого-минералогических наук, генеральный директор Республиканского центра сейсмологической службы, Национальная академия наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Фулун Нин, PhD, профессор, профессор и руководитель аспирантов Национального центра международных совместных исследований по глубокому бурению и разработке месторождений полезных ископаемых, Китайский геологоразведочный университет, г. Ухань, Китай

GEOLOGY AND EXPLORATION

Хуанг Шаопенг, PhD, профессор, Сианьский университет Цзяотун, г. Сиань, Китай; Шэньчжэньский университет, г. Шэньчжэнь, Китай; приглашенный научный сотрудник, Университет Мичигана, г. Энн-Арбор, США

Шестопалов Юрий Викторович, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра электроники, математики и естественных наук, Университет Евле, г. Евле, Швеция

Эппельбаум Лев Виленович, Dr. of Sci. (Geophys.), профессор кафедры геофизики, Тель-Авивский университет, г. Тель-Авив, Израиль

Редакционный совет

Председатель редакционного совета

Панов Юрий Петрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, исполняющий обязанности ректора, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Члены редакционного совета

Гусев Павел Николаевич, главный редактор, газета «Московский комсомолец», г. Москва, Россия (по согласованию)

Игнатов Пётр Алексеевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Машковцев Григорий Анатольевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского, г. Москва, Россия (по согласованию)

Мустаев Рустам Наильевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, проректор по научной работе, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Назарова Зинаида Михайловна, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, доктор экономических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Трубецкой Климент Николаевич, академик РАН, доктор технических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Россия

История издания журнала	Издается с января 1958 г.
Периодичность	6 раз в год
Префикс DOI	https://doi.org/10.32454/
ISSN print	0016-7762
ISSN online	2618-8708
Свидетельство о регистрации средства массовой информации	ПИ №ФС77-59165 от 18.09.2014 г. (Роскомнадзор)
Учредитель и издатель	ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
Редакция	ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», Серов Сергей Геннадьевич (ответственный секретарь) 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия +7 (495) 255-15-10, доб. 2289 https://www.geology-mgri.ru E-mail: journal-geology@mgri.ru
Тираж	100 экз.
Дата выхода в свет	22.06.2022
Типография	Отпечатано в ООО «Издательство «Триада»: 9, оф. 514, Чайковского пр., г. Тверь 170034, Россия
Копирайт	© Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2022
Стоимость одного выпуска	Свободная цена
Условия распространения материалов	Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License
Индексация	РИНЦ, DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat. Включен в Ulrich's Periodicals Directory. Журнал входит в перечень периодических научных изданий РФ, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук

GEOLOGY AND EXPLORATION

FOCUS AND SCOPE

Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration publishes original scientific articles presenting significant results of theoretical and experimental studies carried out by researchers from universities, research institutions and exploration companies, as well as by independent investigators. The Journal publishes review articles on topical issues of geological science and mineral resource exploration practice, along with the materials of such scientific events as conferences, workshops and roundtables. The Journal is also aimed at promoting advanced industrial experience.

During more than 60 years of its existence the Journal *Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration* has established itself as one of the leading and reputable scientific periodicals of the country in the field of Earth sciences. The Journal effectively participates in solving of scientific and technical problems, promoting the latest progresses and strengthens the authority of university and industry research in geology. It helps to improve the preparation of highly qualified engineers, scientists and teachers.

Editor-in-Chief

Vagif Y. Kerimov, Honored Geologist of the Russian Federation, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Deputy Editors-in-Chief

Nikolay B. Kuznetsov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Deputy Director for research, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Yuri A. Popov, Dr. of Sci. (Phys.-Math.), Prof., Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, Russia

Editorial Board

Viktor K. Garanin, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Fersman Mineralogical Museum, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Dmitry S. Drozdov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Researcher, Institute of the Earth Cryosphere of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

Andrey V. Dronov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Scientist, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Margarita N. Ignatyeva, Dr. of Sci. (Economics), Prof., Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia

Mikhail G. Leonov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Scientist, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Andrey V. Maslov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Yuriy B. Marin, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Saint-Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

Vladislav A. Petrov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Director, Institute of Geology of ore deposits, petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Pavel Yu. Plechov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Director, Fersman Mineralogical Museum, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Alexander V. Samsonov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Konstantin Zh. Seminsky, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

Sergey A. Tikhotskiy, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Phys.-Math.), Director, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Alexander V. Tolstov, Honored Geologist of the Russian Federation, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., ALROSA Public Joint Stock Company, Mirny, Yakutia, Russia

Valeriy Yu. Fridovsky, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Director, Diamond and Precious Metal Geology Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

Sergey G. Serov, executive secretary, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Foreign members of the Editorial Board

Moh'd M. Amro, PhD, Director of Institute of Drilling Technology and Fluid Mining, Technical University Bergakemie Freiberg, Freiberg, Germany

Ma Baosong, PhD, Prof., research supervisor of doctoral students, Sun YatSen University, Guangzhou, China

Massimo Verdoya, PhD, Prof., Università degli Studi di Genova, Genoa, Italy

Ibrahim S. Guliev, Academician of the NAS of Azerbaijan, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

Gurban J. Yetirmishli, Corresponding Member of Azerbaijan National Academy of Sciences (ANAS), Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), General director of Republican Seismic Survey Center of ANAS head of seismology division, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

Ning Fulong, PhD, Prof., research supervisor of doctoral students at the National Center for International Research on Deep Earth Drilling and Resource Development, China University of Geosciences, Wuhan, China

Shaopeng Huang, PhD, Prof., Shenzhen University, Institute of Deep Earth Sciences and Green Energy, Shenzhen, China; Adjunct Research Scientist, Department of Earth and Environmental, University of Michigan, Ann Arbor, USA
Yury V. Shestopalov, Dr. of Sci. (Phys.-Math.), Department of Electronics, Mathematics and Natural Sciences, University of Gävle, Gävle, Sweden
Lev V. Eppelbaum, Dr. of Sci. (Geophys.), Prof., Department of Geophysics, Tel Aviv University, Tel-Aviv, Israel

Editorial Council

Chairman of the Editorial Council

Yuri P. Panov, Cand. of Sci. (Engineering), Senior Researcher, Acting Rector, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Members of the Editorial Council

Pavel N. Gusev, Editor-in-Chief, Moskovskii Komsomolets newspaper, Moscow, Russia

Petr A. Ignatov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Grigoriy A. Mashkovtsev, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Director, All-Russian Scientific Research Institute of Mineral Resources named after N.M. Fedorovsky, Moscow, Russia

Rustam N. Mustaev, Cand. of Sci. (Geol.-Mineral.), Associate Professor, Vice-Rector for Scientific Work, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Zinaida M. Nazarova, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Dr. of Sci. (Economics), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Kliment N. Trubetskoy, Academician of the Russian Academy of Science, Dr. of Sci. (Engineering), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Academician N.V. Melnikov Institute of Problems of Integrated Development of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Founded	The journal has been published since January, 1958
Frequency	6 times per year
DOI Prefix	https://doi.org/10.32454/
ISSN print	0016-7762
ISSN online	2618-8708
Mass Media Registration Certificate	PI No. FS 77-59165 issued 18.09.2014 by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor)
Founder and Publisher	Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
Editorial Office	Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Sergey G. Serov (executive secretary) 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia +7 (495) 255-15-10, ext. 2289 https://www.geology-mgri.ru E-mail: journal-geology@mgri.ru
Circulation	100 copies
Publication date	22.06.2022
Printing House	"Triada" publishing house: 9, Tchaikovsky Ave, office 514, Tver 170034, Russia
Copyright	© Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration
Price	Flexible
Distribution	The content is distributed under the Creative Common License CC BY
Indexation	Russian Science Citation Index (RSCI), DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat, Ulrich's Periodicals Directory. The Journal is included in the List compiled by the Higher Attestation Commission of the Russian Federation of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for obtaining the scientific degree of the Candidate of Sciences or Doctor of Science are to be published.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ /

- 8** **НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЗАУРАЛЯ ПО ДАННЫМ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**
Л.А. КРИНОЧКИН, О.К. КРИНОЧКИНА, В.И. БЛОКОВ
- 17** **ЗАПАДНЫЕ ФЛАНГИ ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКОЙ КОНТИНЕНТАЛЬНО-РИФТОГЕННОЙ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ И УРАНОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ**
С.А. МАЛЮТИН

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

- 30** **ВЛИЯНИЕ ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ НА ПРОЦЕССЫ АККУМУЛЯЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**
А.В. ГОРЕВА
- 38** **УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ЭВОЛЮЦИЯ НЕФТЕГАЗМАТЕРИНСКИХ ТОЛЩ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ ПОТЕНЦИАЛЬНО НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ**
Р.А. МАМЕДОВ, М.А. АЛЛАНАЗАРОВА, Р.Р. САГДЕЕВ, Т.Н. СУЮНБАЕВ

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

- 50** **ОЦЕНКА ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ НУРЕКСКОГО РАЙОНА ТАДЖИКИСТАНА**
Б.Х. МУМИНОВ, И.К. ФОМЕНКО, О.Н. СИРОТКИНА

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

- 61** **АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКОЙ БАЗЫ МЕТОДИКИ ДВУМЕРНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ЕЕ РАЗВИТИЮ И УНИФИКАЦИИ**
В.В. РОМАНОВ

ГЕОЭКОЛОГИЯ

- 75** **НЕОТЕКТЕНИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ И СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА РАЙОНА СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ р. ДОН (ТЕРРИТОРИЯ НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС)**
В.М. МАКЕЕВ, Е.А. ПИКУЛИК, А.С. ГУСЕЛЬЦЕВ

ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

- 88** **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ БУРОВЫХ УСТАНОВОК И ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ**
Д.Н. КОРОТАЕВ, Е.В. ИВАНОВА

ЮБИЛЕЙ

- 98** **ЛЮДМИЛА АЛЕКСАНДРОВНА ЯРГ (К 85-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)**

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

- 8 NEW PROSPECTS OF URANIUM MINERALISATION OF THE TRANS-URALS BASED ON REGIONAL GEOCHEMICAL SURVEY DATA**
LEV A. KRINCHKIN, OL'GA K. KRINCHKINA, VYACHESLAV I. BLOKOV
- 17 WESTERN FLANKS OF THE CENTRAL ASIAN LATE PALEOZOIC CONTINENTAL RIFT SYSTEM AND URANIUM MINERALIZATION**
SERGEY A. MALIUTIN

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

- 30 INFLUENCE OF INFILTRATION REGIMES ON HYDROCARBON ACCUMULATION PROCESSES IN NORTHERN PART OF WEST SIBERIA**
ALEKSANDRA V. GOREVA
- 38 FORMATION CONDITIONS AND EVOLUTION OF THE OIL AND GAS STRATA OF THE PROSPECTIVE EAST SIBERIAN OIL AND GAS PROVINCE**
RUSTAM A. MAMEDOV, MEHRIBAN A. ALLANAZAROVA, RAIL R. SAGDEEV, TEMIRBOLAT N. SUYUNBAEV

HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY

- 50 LANDSLIDE HAZARD ASSESSMENT OF THE NORAK REGION OF TAJIKISTAN**
BAKHROMZHON Kh. MUMINOV, IGOR K. FOMENKO, OLGA N. SIROTKINA

GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

- 61 ANALYSIS OF A TERMINOLOGICAL BASE IN THE FIELD OF TWO-DIMENSIONAL SEISMIC SURVEYING AND PROPOSALS ON ITS DEVELOPMENT AND UNIFICATION**
VIKTOR V. ROMANOV

GEOECOLOGY

- 75 NEOTECTONIC STRUCTURES AND MODERN GEODYNAMICS OF THE MIDDLE FLOW REGION OF THE DON RIVER (THE TERRITORY OF THE NOVovorONEZH NUCLEAR POWER PLANT)**
VLADIMIR M. MAKEEV, ELENA A. PICULIK, ALEXANDER S. GUSELTSEV

GEOLOGICAL EXPLORATION TECHNIQUE

- 88 IMPROVEMENT OF ELECTROSPARK DEPOSITION TECHNOLOGY OF STEEL UNITS FOR DRILLING RIGS AND MINING EQUIPMENT**
DMITRY N. KOROTAEV, ELENA V. IVANOVA

ANNIVERSARY

- 98 LYUDMILA ALEXANDROVNA YARG (ON THE 85TH ANNIVERSARY OF HER BIRTH)**



НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЗАУРАЛЬЯ ПО ДАННЫМ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Л.А. КРИНОЧКИН¹, О.К. КРИНОЧКИНА^{2,*}, В.И. БЛОКОВ^{1,3}

¹ ФГБУ «Институт минералогии геохимии и кристаллохимии редких элементов»
15, Вересаева ул., Москва 121357, Россия

² ФГБОУ ВПО НИУ «Московский государственный строительный университет»
26, Ярославское шоссе, г. Москва, 129337, Россия

³ Институт геологии рудных месторождений, петрографии,
минералогии и геохимии Российской академии наук
35, Старомонетный пер., Москва 119017, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Статья посвящена перспективам уранового оруденения в Зауралье. Территория исследований расположена в юго-западной части Западно-Сибирской плиты и является частью Западно-Сибирского ураноносного пояса, контролирующего инфильтрационное урановое оруденение мезозойского возраста палеодолинного типа. В качестве эталонных объектов с подходящими геохимическими характеристиками используются геохимические данные, полученные по АГХП Далматовского и Хохловского урановорудных районов.

Цель — выявление и прогноз новых урановорудных районов, перспективных на обнаружение промышленных месторождений урана палеодолинного типа.

Материалы и методы. Исследования проводились в процессе создания геохимических основ масштаба 1:100 000. Опробовались почвы и донные отложения по сети 10×10 км. Было отобрано более 2000 проб. В них определялись содержания подвижных форм урана и других элементов (всего 56 элементов). Анализ проводился масс-спектрометрическим методом с индуктивно связанной плазмой в аналитическом центре ФГУП «ИМГРЭ».

Результаты. На основе полученных геохимических данных в хорошо освоенном и доступном регионе, кроме известных Далматовского и Хохловского урановорудных районов, выявлена 31 аномальная геохимическая площадь с урановой специализацией. Оценка их перспективности проводилась по комплексу геолого-геохимических критериев. В результате выделено шесть новых перспективных на обнаружение промышленных залежей урана площадей, а в известном Хохловском районе прогнозируется существенный прирост запасов урана.

Заключение. Практическая значимость проведенных исследований заключается в прогнозе расширения сырьевой базы урана в районе известных месторождений с ограниченными запасами сырья.

Ключевые слова: Зауралье, аномальная геохимическая площадь, уран, минерально-сырьевая база

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование проводилось при поддержке гранта РФФИ № 19-35-90115.

Для цитирования: Криночкин Л.А., Криночкина О.К., Блоков В.И. Новые перспективы уранового оруденения Зауралья по данным региональных геохимических исследований. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(1):8—16.
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-8-16>

Статья поступила в редакцию 01.05.2020
Принята к публикации 09.11.2020
Опубликована 22.06.2022

* Автор, ответственный за переписку

NEW PROSPECTS OF URANIUM MINERALISATION OF THE TRANS-URALS BASED ON REGIONAL GEOCHEMICAL SURVEY DATA

LEV A. KRINCHKIN¹, OL'GA K. KRINCHKINA^{2,*}, VYACHESLAV I. BLOKOV^{1,3}

¹ Institute of mineralogy, geochemistry and crystal chemistry of rare elements, Department of Regional Geochemistry
15, Veresaeva str., Moscow 121357, Russia

² Moscow State University of Civil Engineering, Department of Engineering Survey and Geoecology
26, Yaroslavskoe highway, Moscow 129337, Russia

³ Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry
35, Staromonetny lane, Moscow 119017, Russia

ABSTRACT

Introduction. The article presents the prospects of uranium mineralisation in the Trans-Urals. The study area lies in the southwestern part of the Western Siberian Plate and belongs to the West Siberian uranium-bearing belt. The belt controls the paleovalley type uranium infiltration mineralisation of the Mesozoic age. The data obtained from the anomalous geochemical area (AGA) of the Dolmatovsky and Khokhlovsky uranium ore regions are used as a reference with suitable geochemical characteristics.

Aim. The aim of this study is to identify and forecast new uranium ore regions that are promising for the discovery of industrial deposits of paleovalley type uranium.

Materials and methods. The research was conducted while establishing the geochemical bases on a scale of 1 : 1 00 000. Over 2000 samples of soils and bottom sediments were evaluated on a 10 × 10 km grid. The uranium active forms and other 56 elements were detected in the samples. The analysis was carried out by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) in the FSBI "IMGRE" analytical centre.

Results. Besides the known Dolmatovsky and Khokhlovsky uranium ore regions, 31 AGAs with uranium specialisation were identified based on the geochemical data obtained in a well-developed and accessible site. Their prospectivity was assessed according to a set of geological and geochemical criteria. As a result, six new promising areas for discovering industrial uranium deposits were identified, and a significant increase in uranium reserves is expected in the well-known Khokhlovsky region.

Conclusions. The practical implication of the study is the forecast of the expansion of the uranium raw materials base around the known deposits with finite raw materials reserves.

Keywords: Trans-Urals, anomalous geochemical area, uranium, raw minerals base

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: the research was carried out with the support of the RFBR grant № 19-35-90115.

For citation: Krinochkin L.A., Krinochkina O.K., Blokov V.I. New prospects of uranium mineralisation of the Trans-Urals based on regional geochemical survey data. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(1):8—16. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-8-16>

Manuscript received 01 May 2020

Accepted 09 November 2020

Published 22 June 2022

* Corresponding author

Уран в России является остродефицитным полезным ископаемым. По данным Г.А. Машковцева и др. [13], одной из причин этого является отсутствие необходимого количества подготовленных запасов.

Ситуация может быть улучшена выявлением новых перспективных урановорудных районов в Зауралье, где в результате региональных геохимических исследований выявлены аномальные геохимические площади (АГХП), перспективные на обнаружение месторождений урана инфильтрационного типа. Этот регион активно горнорудного освоения выгодно отличается от других урановорудных регионов России своей доступностью и освоенностью.

Расположенный в относительной близости от объекта изучения Казахстан по разведанным запасам урана занимает второе место в мире, а основой его минерально-сырьевой базы являются урановые гидрогенные месторождения пластово-инфильтрационного типа [3, 8, 14].

Территория исследований расположена в юго-западной части Западно-Сибирской плиты и является частью Западно-Сибирского ураноносного пояса, контролирующего инфильтрационное урановое оруденение мезозойского возраста палеодолинного типа [7].

Известное здесь перспективное оруденение этого типа относится к уран-редкоземельной терригенной формации в зонах пластового окисления. Его представляют Далматовское (1), Хохловское (2) и Добровольское (3) месторождения (рис. 1) и довольно многочисленные проявления этой рудной формации [5].

Наиболее полно изучено Далматовское месторождение. Его оруденение приурочено к среднепозднеюрским отложениям, выполняющим раннемезозойские русла, врезанные в поверхность доюрского фундамента. Запасы Далматовского месторождения всех категорий оценены в 11 170 т [6]. В рудах урану сопутствуют повышенные концентрации Mo, Re, Se, Y, Sc, TR [2].

Возраст оруденения в регионе отвечает двум эпохам: 1) на рубеже юры и мела либо в начале мела (130—140 млн лет) и 2) мел — эоцен (40—80 млн лет). Первой эпохе соответствует датировка руд Далматовского месторождения. Вторая эпоха представлена рядом пунктов урановой минерализации в разных частях изученной территории [15].

Материалы и методы

Исследования проводились в процессе создания геохимических основ масштаба 1:100 000

на листах N-41, -42 (2009—2011 гг.) и O-41 (2015—2017 гг.). Геохимическому опробованию подвергались почвы и донные отложения в соответствии с Требованиями [4] по сети 10×10 км. Для поисков перекрытых месторождений в пробах почв и донных отложений определялись содержания подвижных форм урана и широкого круга других элементов (всего 56). Анализ проводился масс-спектрометрическим методом с индуктивно связанной плазмой в аналитическом центре ФГУП «ИМГРЭ».

В условиях скрыто-перекрытого залегания прогнозируемого оруденения оценка перспективности площадей проводилась по комплексу геолого-геохимических критериев [9, 10]. Основным было сопоставление геохимических характеристик исследуемых АГХП и эталонных объектов. Учитывались также размеры АГХП, их геологическая позиция, наличие месторождений и проявлений урана палеодолинного типа. Оцениваемые площади дифференцировались на перспективные, неясной и низкой перспективности.

В качестве эталонных геохимических характеристик в работе используются геохимические данные, полученные по АГХП Далматовского (13) и Хохловского (16) урановорудных районов. Их площади соответственно равны 853 и 1202 кв. км. В пределах первого известно среднее Далматовское (1), а во втором — малое Хохловское (2) месторождения урана.

Объединенная геохимическая ассоциация АГХП Далматовского (13) и Хохловского (16) районов в донных отложениях включает $U_{3,6}^{117}$, $Th_{3,0}^{115}$, $Hf_{2,4}^{75}$, $Zr_{2,4}^{73}$, $Pb_{2,4}^{155}$, $(Be^{72}, Sr^{69})_{2,3}$, $Co_{2,1}^{108}$, $(Bi^{82}, Ag^{83})_{2,0}$, $(Lu^{58}, Cu^{51}, Yb^{57}, Sc^{77})_{1,9}$, $(Tm^{56}, V_{1,8}^{75}, Er^{56}, Ho^{55}, Dy^{56})_{1,8}$, $(Y^{54}, Tb^{57}, Ba^{96}, Gd^{58}, Eu^{58}, Ce^{57})_{1,7}$, $(Sm^{60}, Nd^{61})_{1,6}$, $(Pr^{61}, Cs^{130}, Cd^{99}, La^{60}, Rb^{93})_{1,5}$. В ранжированном ряду здесь и далее подстрочный индекс — уровень накопления (Кс) относительно геохимического фона, надстрочный индекс — коэффициент вариации (V%) содержаний.

Комплексность аномального геохимического поля в донных осадках довольно высокая. В целом в донных отложениях элементы ассоциации характеризуются умеренным ($Кс < 4,0$) и низким ($Кс < 2,0$) накоплением, что вполне естественно для закрытых территорий. Однако следует отметить, что для прогнозной оценки значение имеют элементы не только с достаточно высоким уровнем накопления, но и с высокой степенью неоднородности ($V > 75\%$) распределения их содержаний [1, 11, 12].

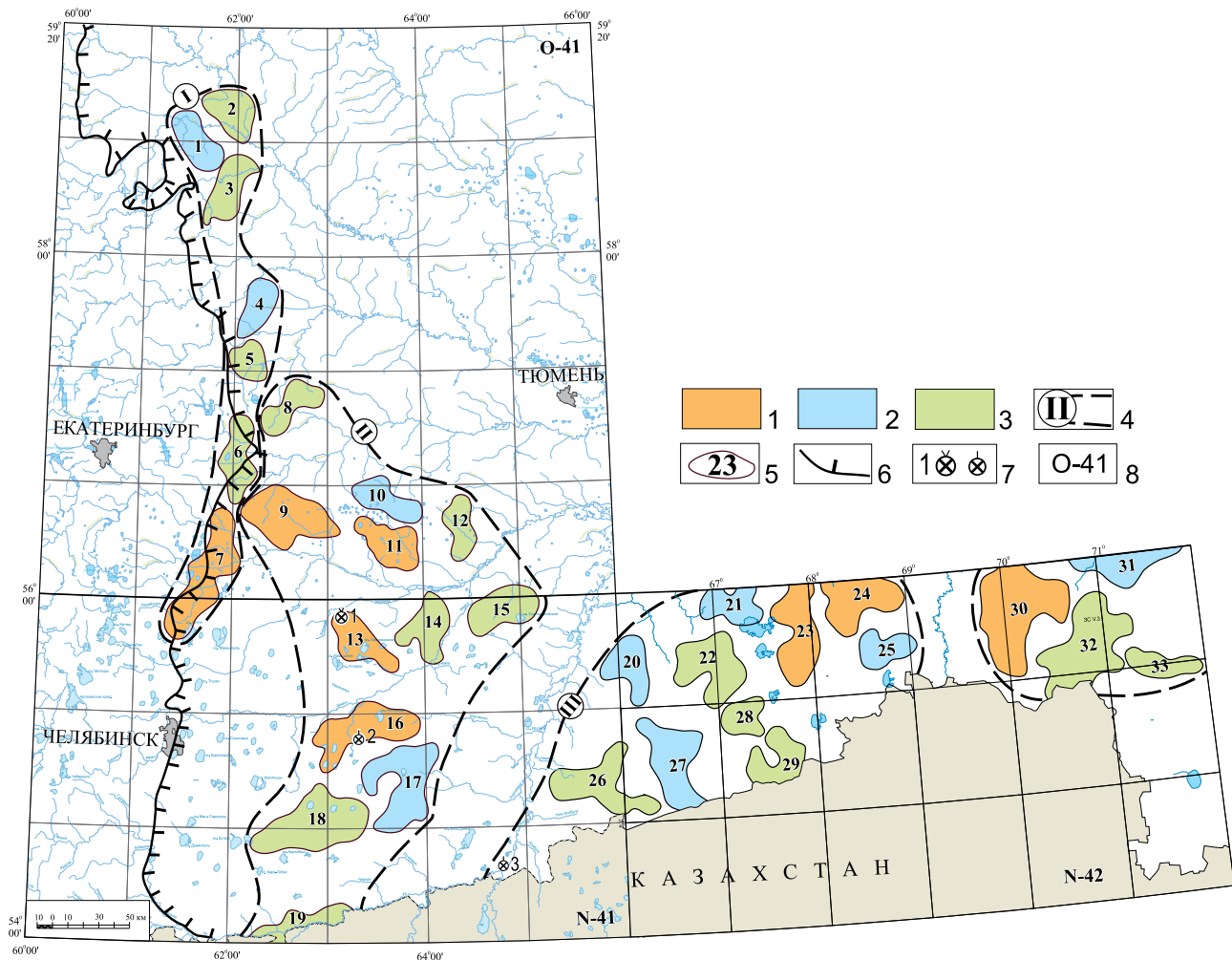


Рис. 1. Прогноз ураноносности Зауралья. 1—3 — перспективность АГХП: 1 — перспективные, 2 — неясной перспективностью, 3 — слабоперспективные; 4 — границы геохимических зон и их номера; 5 — границы АГХП и их номера; 6 — граница платформенного чехла; 7 — месторождения урана (1 — Далматовское, 2 — Хохловское, 3 — Добровольское); 8 — номенклатура листов масштаба 1:1 000 000

Fig. 1. The uraniumiferous of the Trans-Urals. 1—3 — perspectives of Abnormal geochemical fields (AGF): 1 — perspective, 2 — unclear prospectivity, 3 — weak prospectivity; 4 — boundaries of geochemical zones and their numbers; 5 — boundaries of AGF and their numbers; 6 — platform sheath border; 7 — uranium deposits (1 — Dalmatovskoe, 2 — Khokhlovskoe, 3 — Dobrovol'skoe); 8 — nomenclature of scale sheets 1:1 000 000

Высокой ($V > 75\%$) неоднородностью распределения содержаний, присущей геохимическим ореолам рудных залежей, в ассоциации донных осадков выделяются U, Th, Hf, Pb, Co, Bi, Ag, Sc, V, Ba, Cs, Cd, Rb,

Почвенная геохимическая ассоциация эталонных урановорудных площадей короче, включает всего восемь элементов: $U_{4,5}^{167}$, $Zn_{4,0}^{208}$, $Mo_{2,2}^{183}$, $Sr_{2,2}^{97}$, $Th_{1,9}^{90}$, $Hf_{1,9}^{78}$, $Cs_{1,7}^{96}$, $Zr_{1,6}^{78}$. Из них с высокими ($Kc \geq 4,0$) уровнями накопления только уран и цинк, но для всех элементов характерна высокая неоднородность распределения содержаний. Весьма неоднородным распределением

отличаются уран и ряд его спутников: Zn, Mo, Sr, Th, Cs.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 показаны выделенные АГХП с урановой специализацией. Всего 33 аномальные геохимические площади, расположены вне явных техногенных источников и зон их влияния, объединены в четыре геохимические зоны: Юконско-Колпаковскую (I), Далматовскую (II), Тоболо-Ишимскую (III) и Право-Ишимскую (IV).

Далматовская (II) геохимическая зона на сегодня в регионе является наиболее продуктивной.

В ее пределах расположены среднее Далматовское (1) и малое Хохловское (2) урановые месторождения и ряд рудопоявлений урана палеодолинного типа.

Зона локализована в междуречье рек Тобола и Пышмы, имеет общее субмеридиональное простирание и протяженность с севера на юг около 500 км при максимальной ширине в средней части до 250 км.

В северной половине Далматовской зоны повсеместное распространение имеют отложения палеогена, представленные олигоценем и эоценом. В южной половине доминируют отложения неогена (миоцена).

Накопление урана и его спутников установлено как в донных отложениях: $U_{3,7}$, $Sr_{3,0}$, $Ta_{2,5}$, $Mo_{2,3}$, $Re_{2,2}$, $(Zn, Pb, Hf)_{2,0}$, $(Nb, Be, Cd, Ag)_{1,9}$, $(Zr, Ba)_{1,8}$, $V_{1,7}$, $(Sb, Bi, Cu)_{1,6}$, $(Th, Y, Sc)_{1,5}$, так и в почвах: $U_{3,1}$, $Re_{2,3}$, $Th_{2,2}$, $(Zn, Sr)_{1,9}$, $(Mo, Bi)_{1,8}$, $Cs_{1,7}$, $(Hf, Zr)_{1,6}$.

Характерной особенностью аномального геохимического поля урановорудной Далматовской зоны является ведущее положение урана в обеих ассоциациях и присутствие всех элементов почвенной ассоциации, за исключением цезия, в аномальных концентрациях в донных отложениях. При этом в донной ассоциации еще присутствуют и такие известные спутники урана, как Pb, Nb, Be, Cd, Ag, Ba, V, Sb, Sc.

В пределах геохимической зоны к перспективным кроме АГХП известных Далматовского (13) и Хохловского (16) районов отнесены АГХП Гаркашинского (9) и Ольховского (11) районов.

Хохловский (16) район считается недоизученным [7]. Полученные геохимические данные с учетом размеров площади (1202 кв. км) района позволяют прогнозировать в нем значительный прирост запасов урановых руд. Его аномальное поле характеризуется высоким накоплением и неоднородностью распределения урана как в донных отложениях ($U_{4,3}^{115}$), так и почвах ($U_{5,1}^{179}$). Достоверность положительной оценки также подтверждается ассоциацией урана в донных отложениях с $Th_{3,5}^{106}$, $Co_{2,4}^{113}$, $Sr_{2,3}^{72}$, $Bi_{2,2}^{76}$, $Be_{2,2}^{73}$, $Ag_{2,1}^{87}$, $Sc_{2,0}^{80}$, $V_{1,7}^{80}$ и $Ba_{1,7}^{114}$, а в почвах — с $Mo_{2,5}^{192}$, $Zn_{2,5}^{162}$ и $Sr_{1,9}^{99}$.

Гаркашинский (9) район геохимически близок к урановорудным площадям. Его геохимическая ассоциация в донных отложениях характеризуется не только высоким накоплением урана и высокой дифференциацией его содержаний, но и довольно большим перечнем элементов — индикаторов уранового оруденения: $U_{9,1}^{96}$, $Mo_{6,6}^{76}$, $Sr_{6,6}^{127}$, $Ge_{6,1}^{97}$, $Zn_{4,3}^{118}$, $P_{3,6}^{167}$, $Bi_{3,3}^{75}$, $Sb_{3,2}^{114}$, $Ag_{2,4}^{75}$, $Th_{2,2}^{106}$. При этом

площадь района практически вдвое больше площади Далматовского урановорудного района и составляет 1564 кв. км.

В почвах, как и на эталонных объектах, ассоциация несколько меньше: $Re_{2,4}^{108}$, $Mo_{1,8}^{136}$, $U_{1,6}^{69}$, $P_{1,6}^{144}$, $Th_{1,5}^{76}$. Но в ее составе рений и другие элементы — индикаторы уранового оруденения с весьма высокой неоднородностью распределения содержаний, что также достаточно уверенно позволяет прогнозировать обнаружение в Гаркашинском районе промышленного уранового оруденения.

Ольховский (11) район по площади (906 кв. км) несколько больше Далматовского района. В его донных осадках установлено интенсивное накопление урана и рения, а распределение содержаний урана и его спутников в аномальном поле характеризуется высокой неоднородностью: $U_{5,6}^{104}$, $Re_{5,5}^{112}$, $Mo_{3,7}^{75}$, $Zn_{1,6}^{84}$, $As_{1,6}^{77}$, $Hf_{1,5}^{82}$. В почвах интенсивность накопления и дифференциация содержаний урана несколько снижаются, но его спутники в ассоциации характеризуются достаточно высокими для положительного прогноза геохимическими характеристиками: $Re_{22,3}^{250}$, $Sr_{4,1}^{101}$, $Th_{3,1}^{132}$, $Mo_{3,1}^{75}$, $U_{2,9}^{70}$, $Te_{2,3}^{118}$, $As_{2,0}^{95}$, $P_{1,9}^{75}$, $Bi_{1,8}^{142}$.

Юконско-Колпаковская (I) геохимическая зона локализована в верховьях рек Тура, Ница, Пышма, Барнева. Зона линейна, имеет общее субмеридиональное простирание и протяженность с севера на юг около 500 км, при ширине от 50 до 80 км.

Геолого-структурную позицию геохимической зоны определяют ее приуроченность к границе платформы с Уральской складчатой областью, где на поверхности картируются отложения мела, палеоцена и эоцена. В пределах зоны известен ряд проявлений урана палеодолинного типа.

В аномальном геохимическом поле Юконско-Колпаковской зоны наибольшее сходство с аномальным полем Далматовской зоны обнаруживает геохимическая ассоциация донных отложений. В них установлено стабильное накопление $Ni_{8,7}$, $Re_{3,4}$, $Ce_{2,7}$, $Cd_{2,6}$, $Cu_{2,5}$, $U_{2,3}$, $Sb_{2,2}$, $Zn_{2,0}$, $(Bi, Mo)_{1,9}$, $(V, La, Ag)_{1,7}$, $(Nb, Ti, P, As, Y, Sr)_{1,6}$. Перечень общих с Далматовской зоной элементов включает уран и достаточно большое количество его спутников: Re, Cd, Cu, U, Sb, Zn, Bi, Mo, V, Ag, Nb, Y, Sr. Резкое обогащение донных отложений никелем, вероятно, имеет уральскую природу.

В почвах Юконско-Колпаковской зоны ряд накопления значительно больше: $(U, P)_{2,9}$, $As_{2,7}$, $Cd_{2,4}$, $Fe_{2,3}$, $Cr_{2,2}$, $Te_{2,1}$, $Mo_{2,0}$, $Zn_{1,8}$, $(Nb, Th, Ni, Ge)_{1,8}$, $Cu_{1,6}$, чем в почвах Далматовской зоны. Доминируют в ассоциации уран и фосфор, а общими

элементами ассоциаций обеих геохимических зон являются известные спутники урана Mo, Zn, Th.

К перспективным объектам отнесено только АГХП *Колпаковского* (7) района. Ассоциация накопления в донных отложениях на территории района содержит большой перечень элементов — индикаторов уранового оруденения: $Cd_{4,3}^{222}$, $Mo_{3,5}^{112}$, $Nb_{3,1}^{127}$, $U_{3,1}^{97}$, $Zn_{2,9}^{205}$, $Cr_{2,5}^{196}$, $Sb_{2,4}^{134}$, $Cu_{2,3}^{147}$, $Bi_{2,3}^{131}$, $Pb_{2,1}^{177}$, $Ag_{1,9}^{163}$, $Ti_{1,7}^{98}$, $Sr_{1,7}^{71}$, $Ti_{1,6}^{85}$, $Re_{1,6}^{50}$, $Ni_{1,6}^{87}$, $Ge_{1,5}^{124}$, $V_{1,5}^{69}$. В почвах она существенно сокращается, снижается и интенсивность накопления элементов: $P_{2,5}^{95}$, $Re_{2,5}^{239}$, $U_{1,8}^{66}$, $Cd_{1,7}^{121}$, $Mo_{1,7}^{103}$, $Te_{1,6}^{85}$.

Уровни накопления элементов и дифференциация их содержаний в аномальном поле Колпаковского (7) района в целом близки таковым ассоциации, характеризующей донные осадки эталонных рудоносных площадей, что с учетом значительной его площади (1709 кв. км) позволяет прогнозировать выявление промышленных залежей урана.

Тоболо-Ишимская (III) и Право-Ишимская (IV) геохимические зоны представлены фрагментами. Первая — в междуречье рек Тобола и Ишима, вторая — на правом берегу р. Ишим. В центральных частях локализованных фрагментов зон преимущественно распространены отложения плиоцена, на перифериях картируются отложения миоцена. На юго-западном фланге Тоболо-Ишимской зоны расположены малые урановые месторождения палеодолинного типа — Добровольское (3) на территории России и Тобольское на продолжении зоны на территории Казахстана. К этому же типу относятся пункты урановой минерализации, известные в Тоболо-Ишимской зоне в разных геологических комплексах (от триаса до миоцена).

Для геохимических зон характерно преимущественное накопление элементов в донных отложениях. В Тоболо-Ишимской (III) геохимической зоне они обогащены ураном и значительным числом его спутников: $U_{3,3}$, $Zn_{2,4}$, $Sn_{2,0}$, $(Th, Mo, Nb)_{1,8}$, $(Sr, Hf, Ba)_{1,6}$, $(Sc, Zr, Cd, V)_{1,5}$. В почвах стабильное накопление установлено только для $U_{2,8}$, $(Zn, Sr)_{1,8}$ и $Mo_{1,5}$.

В донных отложениях Право-Ишимской (IV) геохимической зоны комплексность аномального поля ниже: $Sr_{3,6}$, $U_{3,2}$, $Zn_{2,4}$, $Nb_{2,3}$, $Th_{2,1}$, $Cd_{1,9}$, $(Mn, Ti)_{1,6}$, а в почвах несколько выше ($U_{3,5}$, $Sr_{2,0}$, $Nb_{1,7}$, $(Th, Mo, Ti)_{1,5}$), чем в Тоболо-Ишимской зоне.

По комплексности и составу геохимических ассоциаций, уровням накопления элементов и степени дифференциации их содержаний в донных отложениях перспективным ураноносным площадям в Тоболо-Ишимской (III) зоне

отвечают районы: *Частоозерский* (23): $U_{5,7}^{146}$, $Mo_{3,3}^{157}$, $Zn_{2,3}^{78}$, $Cu_{2,3}^{154}$, $Cd_{2,2}^{67}$, $Th_{2,1}^{105}$, $Sb_{2,1}^{148}$, $Ti_{1,7}^{68}$, $Pb_{1,6}^{122}$, $Sr_{1,7}^{77}$; *Бердюжинский* (24): $U_{6,1}^{127}$, $Zn_{3,8}^{142}$, $Mo_{2,6}^{103}$, $Ti_{1,9}^{102}$, $Ti_{1,8}^{85}$, $Cd_{1,6}^{86}$, $Th_{1,5}^{158}$, а в Право-Ишимской (IV) — *Маслянский* (30): $Nb_{4,2}^{119}$, $Th_{4,1}^{177}$, $U_{3,8}^{78}$, $Cs_{1,9}^{72}$, $Bi_{1,9}^{93}$, $Ag_{1,8}^{82}$, $Mn_{1,8}^{103}$, $Sc_{1,8}^{103}$. Интенсивность накопления урана и его спутников и неоднородность аномальных геохимических полей Частоозерского (23) и Бердюжинского (24) районов значительно выше, чем у АГХП Маслянского (30) района. Но площадь Маслянского района (2522 кв. км) практически вдвое превышает площади Частоозерского (1335 кв. км) и Бердюжинского (1224 кв. км) районов.

В почвах комплексность аномальных полей этих районов низкая (3—4 элемента), а накопление и дифференциация урана средние. Тем не менее это не исключает возможности обнаружения промышленных залежей урана, так как ослабление геохимических ореолов в почвах объяснимо значительно большей мощностью молодых, перекрывающих прогнозируемое оруденение отложений в сравнении с эталонными урановорудными районами.

К объектам неясной перспективности в Далматовской (II) геохимической зоне отнесены АГХП Басмановского (10) и Петровско-Медвежьеозерского (17) районов; в Юконо-Колпаковской (I) — АГХП Юконского (1) и Верхне-Вязовского (4) районов; в Тоболо-Ишимской (III) — АГХП Варгашинского (20), Курганского (21), Пегановского (25) и Сухменского (27) районов; в Право-Ишимской (IV) — АГХП Крутининского (31) района. Для аномальных полей этих объектов, как правило, характерно преимущественное накопление урана и его спутников в донных отложениях, что сближает их с известными урановорудными площадями. Но из-за меньшей интенсивности накопления и более слабой дифференциации содержаний элементов-индикаторов перспективность объектов оценена как неясная.

Для остальных АГХП геохимических зон характерны низкие, низкие и умеренные уровни накопления рудообразующего урана и его спутников и слабая дифференциация их содержаний, что отражает их низкую перспективность.

Заключение

На основе материалов региональных геохимических работ в достаточно хорошо освоенном и доступном регионе кроме известных урановорудных Далматовского (13) и Хохловского (16) районов оконтурены АГХП шести новых

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

перспективных районов: Колпаковского (7), Гаркашинского (9), Ольховского (11), Частозерского (23), Бердюжинского (24) и Маслянского (30). В них прогнозируется обнаружение промышленных месторождений урана палеодолинного типа.

Проведение дополнительных геохимических работ требуется для уточнения перспектив

уранового оруденения девяти районов, отнесенных к объектам с неясной перспективностью.

Практическая важность проведенных исследований заключается в прогнозе расширения сырьевой базы урана региона перспективного освоения известных урановых месторождений с ограниченными запасами сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев Г.М., Великославский С.Д., Ильинский Ю.В. и др. Методические рекомендации к составлению легенд к полиэлементным геохимическим картам. Л.: Издательство ВСЕГЕИ, 1985. 140 с.
2. Быховер Н.А., Еремеев А.Н., Соловов А.П. Классификация прогнозных запасов металлов / Количественная оценка прогнозных запасов при региональных металлогенических исследованиях. Л.: Недра, 1978. С. 37—39.
3. Геология и полезные ископаемые Казахстана. Доклады казахстанских геологов. Книга 1. Алматы: КазИМС, 1996. 236 с.
4. Головин А.А., Ачкасов А.И., Волочкович К.Л. и др. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1:1 000 000. М.: ФГУП ИМГРЭ, 1999. 104 с.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская, Лист О-41. Екатеринбург, Объяснительная записка. СПб.: Издательство ВСЕГЕИ, 2011. 492 с.
6. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская, Лист N-41. Челябинск, Объяснительная записка. СПб.: Издательство ВСЕГЕИ, 2013. 415 с.
7. Грушевой Г.В., Печенкин И.Г. Металлогения мезозойских и кайнозойских ураноносных осадочных бассейнов Евразии. Региональная геология и металлогения, СПб: Издательство ВСЕГЕИ, 2000. Т. 12. С. 178—191.
8. Карта полезных ископаемых Казахстана. Масштаб 1:1 000 000 (под. ред. Б.С. Ужкенова). Алматы: КазИМС, 2003.
9. Кривочкин Л.А., Головин А.А., Николаев Ю.Н. и др. Геолого-геохимические модели аномальных полей — основа прогнозной оценки территорий МГХК // Разведка и охрана недр. 2002. № 8. С. 9—13.
10. Кривочкин Л.А., Килипко В.А. Кривочкина О.К. и др. Эффективность геохимических работ при создании ГХО-1000 на примере листа О-41 // Разведка и охрана недр. 2019. № 1. С. 10—15.
11. Кривочкин Л.А., Николаев Ю.Н., Бурьянов А.В. и др. Технология прогнозной оценки металлогенических зон, рудных районов и узлов при МГХК-1000 и МГХК-200 (Методические рекомендации). М.: ИМГРЭ, 2002. 159 с.
12. Кудрявцев В.Е., Шор Г.М. Пути совершенствования прогноза месторождений урана. СПб.: Издательство ВСЕГЕИ, 2001. 84 с.
13. Машковцев Г.А., Коноплев А.Д., Костилов А.Т. и др. Основные направления освоения и развития МСБ урана России // Разведка и охрана недр. 2008. № 9. С. 93—100.
14. Никитченко И.И. Полезные ископаемые Казахстана. Объяснительная записка к Карте полезных ископаемых Казахстана масштаба 1:1 000 000. Кокшетау: КазИМС, 2002. 188 с.
15. Чувилин В.А. Прогнозно-поисковые работы масштабов 1:200 000 — 1:50 000 на Буткинско-Байкаловской площади Зауралья с целью выделения участков для поисков гидрогенных месторождений урана. Екатеринбург: ТГФ, 2008. 333 с.

REFERENCES

1. Beliaev G.M., Velikoslavskii S.D., Ilinskii Yu.V. et al. Methodological recommendations for the preparation of legends for polyelectric geochemical maps. Leningrad: VSEGEI Publishing house, 1985. 140 p. (In Russian).
2. Bykhover N.A., Ereemeev A.N., Solov A.P. Classification of forecast metal reserves / Quantification of forecast reserves in regional metallogenic studies. Leningrad: NEDRA, 1978. P. 37—39 (In Russian).
3. Geology and minerals of Kazakhstan. Reports of Kazakhstan geologists. Book 1. Almaty: KazIMS Publishing House, 1996. 236 p. (In Russian).
4. Golovin A.A., Ahkasov A.I., Volohkovich K.L., et al. Requirements for the production and results of multi-purpose geochemical mapping at a scale of 1:1 000 000. Moscow: IMGRE, 1999. 104 p. (In Russian).
5. State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third generation). Series Ural, Sheet O-41. Yekaterinburg, Explanatory Note. Saint Petersburg: VSEGEI Publishing house, 2011. 492 p. (In Russian).
6. State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third generation). Ural Series, Sheet N-41. Chelyabinsk, Explanatory Note. Saint Petersburg: VSEGEI Publishing house, 2013. 415 p. (In Russian).
7. Grushev G.V., Pechenkin I.G. Metallogeny of the Mesozoic and Cenozoic uraniferous sedimentary basins of Eurasia. Regional geology and metallogeny,

- Saint Petersburg: VSEGEI Publishing House, 2000. Vol. 12. P. 178—191 (In Russian).
8. Map of minerals of Kazakhstan. Scale 1:1 000 000 (ed. by B.S. Uzhkenov). Almaty: KazIMS Publishing House, 2003 (In Russian).
 9. Krinochkin L.A., Golovin A.A., Nikolaev Yu.N., et al. Geological and geochemical models of anomalous fields are the basis for predictive assessment of MGHC territories // Exploration and protection of mineral resources. 2002. № 8. P. 9—13 (In Russian).
 10. Krinochkin L.A., Kilipko V.A. Krinochkina O.K. Efficiency of geochemical work when creating the GCO-1000 on the example of sheet O-41 // Exploration and protection of mineral resources. 2019. № 1. P. 10—15 (In Russian).
 11. Krinochkin L.A., Nikolaev Yu.N., Burianov A.V., et al. Technology for predictive assessment of metallogenic zones, ore areas and nodes at MGHC-1000 and MGHC-200 (Guidelines). Moscow: IMGRE, 2002. 159 p. (In Russian).
 12. Kudryavtsev V.E., Shor G.M. Ways to improve the forecast of uranium deposits. Saint Petersburg: VSEGEI Publishing house, 2001. 84 p. (In Russian).
 13. Mashkovtsov G.A., Konoplev A.D., Kostikov A.T., et al. The main directions of development and development of SMEs of uranium in Russia / Exploration and protection of mineral resources: 2008. № 9. P. 93—100 (In Russian).
 14. Nikitchenko I.I. Minerals of Kazakhstan. Explanatory note to the Map of minerals of Kazakhstan, scale 1:1 000 000. Kokshetau: KazIMS Publishing House, 2002. 188 p. (In Russian).
 15. Chuvilin V. A. Forecast-search works of scales 1:200 000 — 1:50 000 on Butkinsko-Baykalovskaya area of the Trans-Urals for the purpose of allocation of sites for searches of hydrogenated deposits of uranium. Yekaterinburg: TGF, 2008. 333 p. (In Russian).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Крinoчкин Л.А. — внес вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Крinoчкина О.К. — внесла вклад в обработку и анализ геолого-геохимических данных и в создание графической информации, утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Блоков В.И. — внес вклад в сбор и обработку данных геохимических основ изучаемой территории, выполнил перевод на английский язык, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Lev A. Krinochkin — contributed to the development of the concept of the article, prepared the text of the article and finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Ol'ga K. Krinochkina — contributed to the processing and analysis of geological and geochemical data and to the creation of graphical information, approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Vyacheslav I. Blokov — contributed to the collection and processing of data on the geochemical foundations of the study area, completed the translation into English, approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Крinoчкин Лев Алексеевич — доктор геолого-минералогических наук, заведующий отделом мелкомасштабных геохимических работ ФГБУ «Институт минералогии геохимии и кристаллохимии редких элементов»

15, Вересаева ул., Москва 121357, Россия
тел.: +7 (495) 443-90-41, +7 (916) 968-16-44

e-mail: lkrinochkin@mail.ru

SPIN-код: 4148-3390

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9338-3191>

Lev A. Krinochkin — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Head of the Department of Small-scale geochemical works Institute of mineralogy, geochemistry and crystal chemistry of rare elements, Department of Regional Geochemistry

15, Veresaeva str., Moscow 121357, Russia
tel.: +7 (495) 443-90-41, +7 (916) 968-16-44

e-mail: lkrinochkin@mail.ru

SPIN-code: 4148-3390

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9338-3191>

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

Криночкина Ольга Константиновна* — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры инженерных изысканий и геоэкологии ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет»

26, Ярославское шоссе, Москва 129337, Россия

тел.: +7 (985) 726-17-70

e-mail: vdovinaok@mail.ru

SPIN-код: 1404-5254

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4833-1944>

Olga K. Krinochkina* — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof Department of Engineering Surveys and Geoecology Moscow State University of Civil Engineering

26, Yaroslavskoe highway, Moscow, 129337, Russia

tel.: +7 (985) 726-17-70

e-mail: vdovinaok@mail.ru

SPIN-code: 1404-5254

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4833-1944>

Блоков Вячеслав Игоревич — инженер-геолог 1 категории отдела мелкомасштабных геохимических работ ФГБУ «Институт минералогии геохимии и кристаллохимии редких элементов»; младший научный сотрудник Лаборатории рудных месторождений имени академика А.Г. Бетехтина Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук

15, Вересаева ул., Москва 121357, Россия

35, Старомонетный пер., Москва 119017, Россия

тел.: +7 (915) 233-44-53

e-mail: blok_off@mail.ru

SPIN-код: 2297-4921

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5623-9350>

Vyacheslav I. Blokov — geological engineer of the 1st category of the Department of Small-scale geochemical works Institute of mineralogy, geochemistry and crystal chemistry of rare elements, Department of Regional Geochemistry; junior researcher, Laboratory of Ore Deposits named after Academician A.G. Betekhtin, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry

15, Veresaeva str., Moscow, 121357, Russia

35, Staromonetny lane, Moscow, 119017, Russia

tel.: +7 (915) 233-44-53

e-mail: blok_off@mail.ru

SPIN-code: 2297-4921

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5623-9350>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-17-29>
УДК 552.33+553.078



ЗАПАДНЫЕ ФЛАНГИ ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКОЙ КОНТИНЕНТАЛЬНО-РИФТОГЕННОЙ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ И УРАНОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ

С.А. МАЛЮТИН

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Обобщены материалы по ареалам магматических пород повышенной щелочности, фиксирующим положение западных флангов южных ветвей (Гоби-Алтайской и Гоби-Тянь-Шаньской) позднепалеозойской континентально-рифтогенной системы Центральной Азии на территории С-З Чингиза (восточная часть Центрального Казахстана), Кендыктас-Чу-Или-Бетпақдалинской ураноносной провинции Южного Казахстана и Чаткало-Нарынской зоны Тянь-Шаня (Узбекистан).

Приведены данные о приуроченности урановой минерализации к этим ареалам и ее парагенетической связи с позднепалеозойской щелочной вулканоплутонической ассоциацией.

Цель. Изучение ураноносности позднепалеозойского щелочного магматизма для корректировки металлогенических представлений и обоснования перспектив рудоносности западных флангов южных ветвей континентально-рифтогенной системы Центральной Азии.

Материалы и методы. Основной объем материалов получен в процессе проведения с участием автора специализированных геолого-съемочных и поисковых работ различного масштаба в районах Центрального Казахстана в период 1965—1985 годов. Использованы также опубликованные материалы, касающиеся расчленения магматических образований в урановорудных полях Южного Казахстана и Чаткало-Нарынской зоны.

Результаты. На площади урановых рудопроявлений С-З Чингиза и некоторых месторождений Южного Казахстана, приуроченных к девонским вулканическим сооружениям, выявлены субвулканические тела комендитов и небольшие массивы щелочных гранитов позднепалеозойского возраста, что свидетельствует об их связи с южными ветвями Центрально-Азиатской континентально-рифтогенной системы.

К щелочным породам приурочены проявления редкометалльно-альбититовой, уран-фосфорной и уран-молибденовой формаций. Редкометалльное оруденение тесно ассоциирует с щелочными породами, а урановая минерализация возникла после внедрения наиболее поздних даек микрогаббродiorитов и лампрофиров.

Аналогичные соотношения редкометалльной и урановой минерализации со щелочными гранитами и дайками микрогаббродiorитов и лампрофиров отмечаются на урановых месторождениях Чаткало-Нарынской зоны, расположенных среди раннепермской бимодальной трахибазальт-трахириолитовой формации.

Заключение. Установление рудоносности западных флангов Гоби-Алтайской и Гоби-Тянь-Шаньской ветвей на территории Южного и Центрального Казахстана позволяет выделять их как металлогенические зоны, перспективные на редкометалльное и урановое оруденение.

Ключевые слова: ареал, магматический комплекс, комендит, щелочной гранит, континентальный рифтогенез, редкометалльное и урановое оруденение

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Малютин С.А. Западные фланги позднепалеозойской континентально-рифтогенной системы Центральной Азии и урановое оруденение. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(1):17—29. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-17-29>

Статья поступила в редакцию 10.03.2020

Принята к публикации 13.01.2022

Опубликована 22.06.2022

WESTERN FLANKS OF THE CENTRAL ASIAN LATE PALEOZOIC CONTINENTAL RIFT SYSTEM AND URANIUM MINERALIZATION

SERGEY A. MALIUTIN

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

ABSTRACT

Introduction. Available information on the occurrences of high alkaline magmatic rocks fixing the position of the western flanks of the southern branches (Gobi Altai and Gobi Tien-Shan) of the Central Asian Late Paleozoic continental rift system in the territory of the North-West of Chingiz (the eastern part of Central Kazakhstan), the Kendyktas-Chu-Ili-Bet-Pak-Dal uranium-bearing province of the Southern Kazakhstan and the Chatkal-Naryn zone of Tien-Shan (Uzbekistan) is reviewed. Data on the confinement of uranium mineralization to these occurrences and its paragenetic relationship with the Late Paleozoic alkaline volcanic-plutonic association is provided.

Aim. To study the uranium mineralization of Late Paleozoic alkaline magmatism to clarify metallogenic representations and justify prospects for the ore-bearingness of the western flanks of the southern branches of the Central Asian continental rift system.

Materials and methods. The largest part of materials was obtained in the process of geological surveys and prospecting works of various scales in the regions of Central Kazakhstan in the period 1965–1985 with the participation of the author. Published materials concerning the subdivision of magmatic formations in the uranium ore fields of Southern Kazakhstan and the Chatkal-Naryn zone were also used.

Results. Subvolcanic bodies of comendites and small masses of alkaline granites of the Late Paleozoic were identified across the area of uranium ore occurrences in the South-Western Chingiz and some deposits of South Kazakhstan confined to Devonian volcanic structures, which indicates their relationship with the southern branches of the Central Asian continental rift system. Rare-metal albite, uranium-phosphorus and uranium-molybdenum formations are confined to alkaline rocks. Rare-metal mineralization is closely associated with alkaline rocks, while uranium mineralization occurred after the introduction of the most recent microgabbrodiorite and lamprophyre dikes. Similar correlations of rare-metal and uranium mineralization with alkaline granites and of microgabbrodiorite and lamprophyre dikes are observed in the uranium deposits of the Chatkal-Naryn zone located among the early Permian bimodal trachybasalt-trachyolite formation.

Conclusion. The establishment of ore mineralization on the western flanks of the Gobi Altai and Gobi Tien-Shan branches in the territory of Southern and Central Kazakhstan allows these areas to be distinguished as metallogenic zones, promising in terms of rare-metal and uranium mineralization.

Keywords: area, magmatic complex, comendite, alkaline granite, continental rift, rare-metal and uranium mineralization

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Maliutin S.A. Western flanks of the central Asian late paleozoic continental rift system and uranium mineralization. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(1):17—29. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-17-29>

Manuscript received 10 March 2020

Accepted 13 January 2022

Published 22 June 2022

Позднепалеозойская континентально-рифтогенная система Центральной Азии, выделенная на территории Монголии и Казахстана (рис. 1), представлена тремя последовательно сформировавшимися субпараллельными рифтогенными структурами (ветвями) широтного простирания, выполненными вулканитами бимодальной трахибазальт-командитовой формации и сопровождающими ее массивами сиенитов, щелочных гранитов и поясами даек (с юга на север): Гоби-Тянь-Шаньской (C_3-P_1), Гоби-Алтайской

(P_{1-2}) и Северо-Монгольской (P_2-T_1). Образование ее объясняется продвижением океанической спрединговой зоны Палеотетиса с развивающимся мантийным диапиром под Северо-Азиатский позднепалеозойский континент, происходящим при сближении его с Таримским и Китайско-Корейским материками. Растягивающие напряжения в перекрытом диапире приводили к расколу континентальной коры в ослабленных зонах, возникновению континентально-рифтогенных структур осевого типа, массивов щелочных пород

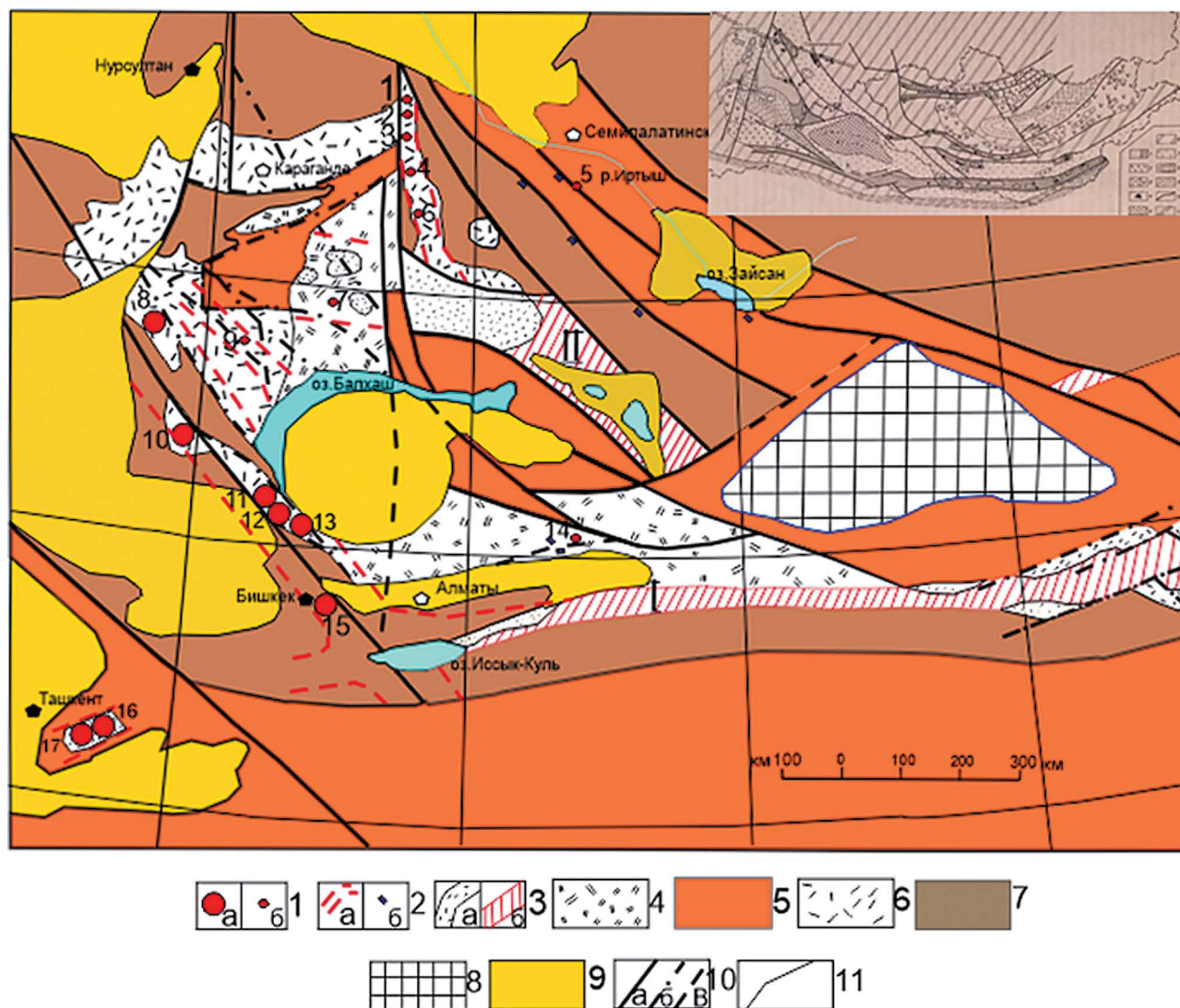


Рис. 1. Схематическая карта размещения западных флангов позднепалеозойской рифтогенной системы Центральной Азии, ареалов щелочных гранитоидов, месторождений и рудопроявлений урана.

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

Условные обозначения: 1 — месторождения (а) и рудопроявления (б) урана; 2 — ареалы распространения массивов щелочных гранитоидов позднего палеозоя (а) и отдельные массивы щелочных гранитов (б); 3 — реальные выходы пород бимодальной трахибазальт-трахириолит-комендитовой формации (а) и предполагаемые первоначальные поля (б) западных флангов Гоби-Тянь-Шаньской (I) и Гоби-Алтайской (II) ветвей позднепалеозойской рифтогенной системы Центральной Азии по В.В. Ярмолюку [19]; 4 — вулканогенные образования позднего палеозоя; 5 — герциниды; 6 — породы девонского вулканического пояса; 7 — каледониды; 8 — Джунгарский массив древней консолидации; 9 — площади развития четвертичных отложений; 10 — разрывные нарушения: первого порядка (а), второго порядка (б) и предполагаемые (в); 11 — геологические границы.

Месторождения и рудопроявления урана: 1 — Алкамергенское, 2 — Улькентузское, 3 — Ушкаринское, 4 — Достарское, 6 — Кайнарское (Северо-Западный Чингиз); 5 — Улькен-Акжал (Жарма-Саурская зона); 7 — Кызыл (Токрауский синклиний); 8 — Джидели, 9 — Шунакское, 10 — Каратал, 11 — Кызылсай, 12 — Бота-Бурумское, 13 — Джусандалинское, 14 — Панфиловское, 15 — Курдай (Кендыктас-Чу-Или-Бетпакалинская провинция); 16 — Алатаньга, 17 — Чаули (Чаткало-Нарынская зона).

На врезке представлена карта пермских континентальных вулканических образований Центральной Азии по В.В. Ярмолюку [19]

Fig. 1. Schematic map of the location of the western flanks of the Late Paleozoic rift system of Central Asia, areas of alkaline granitoids, deposits and ore occurrences of uranium.

Conventions: 1 — deposits (a) and ore occurrences (b) of uranium; 2 — distribution areas of Late Paleozoic alkaline granitoids (a) and separate alkaline granite massifs (b); 3 — real outcrops of rocks of the bimodal trachybasalt-trachyrhyolite-comendite formation (a) and the supposed initial fields (b) of the western flanks of the Gobi-Tianshan (I) and Gobi-Altai (II) branches of the Late Paleozoic riftogenic system of Central Asia according to V.V. Yarmolyuk [19]; 4 — volcanogenic formations of the Late Paleozoic; 5 — hercynides; 6 — rocks of the Devonian volcanic belt; 7 — Caledonides; 8 — Dzungarian massif of ancient consolidation; 9 — areas of development of Quaternary deposits; 10 — discontinuous violations: first order (a), second order (b) and alleged (c); 11 — geological boundaries.

Deposits and ore occurrences of uranium: 1 — Alkamergenskoye, 2 — Ulkentuzskoye, 3 — Ushkarinskoye, 4 — Dostarskoye, 6 — Kainarskoye (North-Western Chingiz); 5 — Ulken-Akzhal (Zharmasaur zone); 7 — Kyzyl (Tokrausynclinal); 8 — Jideli, 9 — Shunak, 10 — Karatal, 11 — Kyzylsay, 12 — Bota-Burum, 13 — Dzhusandala, 14 — Panfilov, 15 — Kurdai (Kendyktas-Chu-Ili-Betpakdala province); 16 — Alatanga, 17 — Chauli (Chatkal-Naryn zone). The inset shows a map of Permian continental volcanic formations in Central Asia according to V.V. Yarmolyuk [19]

и поступлению мощных потоков мантийных флюидов [19, 20].

Щелочной магматизм континентально-рифтогенных структур осевого типа Монголии характеризуется ярко выраженной металлогенической специализацией на Zr, Nb, Ta, Sn, TR, Th и U [20]. Здесь известны U-редкометалльные рудопроявления в высокотемпературных альбититах, однако промышленное U-Mo оруденение позднепалеозойского возраста до настоящего времени не выявлено.

Вместе с тем на территории Узбекистана и Казахстана, где могут располагаться западные фланги южных ветвей континентально-рифтогенной системы Центральной Азии, известен целый ряд урановых месторождений и рудопроявлений, имеющих признаки связи с позднепалеозойским континентальным рифтогенезом.

В Узбекистане такими месторождениями являются Чаули, Алатаньга, Разведучасток, Каттасай и другие, расположенные в пределах позднепалеозойских континентально-рифтогенных вулканотектонических депрессий [4, 5, 15].

В Казахстане признаки связи с позднепалеозойским континентальным рифтогенезом имеют некоторые месторождения и проявления

Кендыктас-Чу-Или-Бетпакалинской ураноносной провинции и рудопроявления С-З Чингиза, расположенные, соответственно, в юго-западном и юго-восточном секторах девонского вулканического пояса. Они приурочены к вулканическим постройкам, сложенным девонскими породами известково-щелочной серии, прорванными субвулканическими и гипабиссальными телами щелочного состава.

Возраст щелочных пород до настоящего времени точно не определен. Большинство исследователей он принимается позднедевонским. Появление щелочных пород в тыловых зонах вулканического пояса связывается с продвижением в среднем палеозое под Казахстанский микроконтинент зоны Беньюфа Джунгарского океанического бассейна, в результате которого происходила смена известково-щелочного магматизма на щелочной [10]. Возраст уранового оруденения, возникшего после внедрения щелочных пород, считается позднедевонско-раннекаменноугольным.

Согласно другой точке зрения, возраст щелочных пород является позднепалеозойским [2, 3, 12, 13, 19].

Существует и третья точка зрения, согласно которой в рудных районах распространены

щелочные породы как позднедевонского, так и позднепалеозойского возраста. В результате воздействия позднепалеозойского щелочного магматизма девонские урановые руды могли быть подвержены частичной регенерации, что подтверждается результатами их геохронологических исследований, которые для месторождений Кендыктас-Чу-Или-Бетпакалинской ураноносной провинции распределяются в трех возрастных диапазонах: 340—360, 250—270 и 70—90 млн лет [3, 14]. Связь оруденения с конкретным магматическим комплексом не установлена, выделение на местности урановой минерализации разных этапов не представляется возможным.

По мнению автора, роль позднепалеозойского континентально-рифтогенного магматизма в образовании урановых руд значительно недооценена и существует необходимость ее конкретизировать на примере месторождений и рудопроявлений Кендыктас-Чу-Или-Бетпакалинской ураноносной провинции и С-3 Чингиза, расположенных в непосредственной близости от западных флангов южных ветвей позднепалеозойской континентально-рифтогенной системы Центральной Азии.

Щелочной магматизм и урановое оруденение западного фланга Гоби-Тянь-Шаньской ветви

Западный фланг Гоби-Тянь-Шаньской ветви позднепалеозойской континентально-рифтогенной системы Центральной Азии, который реконструирован В.В. Ярмолюком от Джунгарского массива древней консолидации на востоке до Киргизского хребта на западе, включает площадь развития бимодальной трахибазальт-комендитовой формации южного склона хребта Кетмень (базмоянская свита P_1) и Заилийский ареал позднепалеозойских граносиенитов и щелочных гранитов [19]. Далее на юго-запад континентально-рифтогенная структура не прослеживается, здесь известны лишь отдельные массивы щелочных пород. И только к юго-востоку от Ташкента, в пределах герцинской Чаткало-Нарынской зоны, имеется протяженный участок, который может являться продолжением западного фланга Гоби-Тянь-Шаньской ветви. Здесь располагается пояс гранитоидных массивов повышенной щелочности и ряд крупных вулканотектонических депрессий кальдерного типа (Карабашская, Кызылнуринская, Бабайтоудорская, Чилтенская, Самгарская и др.), в строении которых принимают участие породы бимодальной трахибазальт-трахириолитовой формации кызылнуринской свиты P_1 с абсолютным возрастом в 286—290 млн лет [1, 15].

Комагматами трахириолитов покровной и субвулканической фаций указанных депрессий считаются ультракислые и субщелочные граниты арашанского комплекса (Шайданский, Арашанский, Чаркасарский и Беданалисайский массивы), характеризующиеся редкометалльной (Rb, Nb, Be, W, Sn, F, U, Th) специализацией. В Арашанском массиве известно Келенчек-Ташсайское проявление редкометалльных (Th, Nb, Zr, TR, U) альбититов. По химическому составу трахириолиты близки к комендитам, а среди гранитов отмечаются щелочные разности [15].

Контрастность кызылнуринской свиты, повышенная щелочность и редкометалльная специализация вулканитов и гранитов объясняются существованием развивающегося мантийного диапира спрединговой зоны Палеотетиса, оказавшейся под Казахско-Киргизской частью Северо-Азиатского материка незадолго до его столкновения с Алай-Таримским микроконтинентом в результате субдукции [1, 4, 5, 19]. Продвижение этого отрезка западного фланга спрединговой зоны после столкновения должно было прекратиться. От продолжавшей движение восточной части спрединговой зоны он мог быть отделен протяженным трансформным разломом меридионального направления, установленным под четвертичными отложениями по геофизическим данным. Этот разлом позднее был частично унаследован Центрально-Казахстанским сдвигом.

Большинство месторождений и рудопроявлений U-Mo формации (Алатаньга, Разведучасток, Чаули, Каттасай и др.) находятся в вулканогенных породах указанных депрессий, однако есть месторождения, расположенные в комагматических вулканитам гранитных массивах (Чаркасар). Процесс развития гидротермальной минерализации был не менее чем трехэтапным. В ранний этап возникли зоны осветления, серицитизации, окварцевания и каолинизации, связанные с фумарольно-сульфатарной деятельностью. В средний этап произошло формирование зон редкометалльных альбититов, наложенных на граниты. Урановая минерализация возникла после еще более поздних даек лампрофиров и микрогаббродиоритов регионального распространения, близких по абсолютному возрасту к трахириолитам кызылнуринской свиты и лейкогранитам (270—280 млн лет). Абсолютный возраст урановой минерализации также находится в этих пределах [11].

Таким образом, связь вулканитов кызылнуринской свиты, аляскитовых и щелочных гранитов, даек и оруденения с позднепалеозойским

континентальным рифтогенезом представляется очевидной.

В Казахстане в пределах Прибалхашско-Илийского карбон-пермского вулканического пояса также имеются урановые рудопроявления. Одно из них находится вблизи г. Панфилов Алма-Атинской области, в 120 км севернее южного склона хребта Кетмень.

Рудопроявление Панфиловское (рис. 1) расположено в субширотной полосе карбон-пермских вулканогенных пород, прорванных экстрезивными телами риолитов и небольшими массивами граносиенитов и щелочных гранитов ранней перми. Штокверковая урановая минерализация приурочена к крутопадающим близмеридиональным дайкам микроаббродиоритов, секущим экстрезивный массив риолитов [17]. Связь щелочного магматизма, даек микроаббродиоритов и оруденения с продолжавшей продвижение под континент восточной частью спрединговой зоны Палеотетиса также вполне вероятна.

В строении территории Кендыктас-Чу-Или-Бетпакдалинской ураноносной провинции участвуют блоки докембрийской континентальной коры, осадочные и вулканогенно-осадочные толщи нижнего палеозоя, девонские известково-щелочные вулканы и сопровождающие их гранитоиды, осадочные отложения D_3 - C_1 квазиплатформенного этапа и массивы позднепалеозойских гранитоидов.

В пределах провинции известно более 25 небольших массивов и дайкообразных тел щелочных пород, расположенных на площади распространения девонских вулканических полей. Они объединены в несколько ареалов северо-западного (Чуйский, Кендыктасский, Чу-Илийский и Западно-Балхашский) и субширотного (Заилийский) простираения, вытягивающихся вдоль глубинных разломов [13].

В районе оз. Иссык-Куль объединенные Кендыктасский и Чу-Илийский ареалы щелочных пород сопрягаются с субширотным Заилийским ареалом, образуя косое крестообразное сочленение (рис. 1), возникшее при пересечении субширотной Гоби-Тянь-Шаньской ветви рифтогенной системы северо-западных структур Бетпак-Далинского антиклинория.

В последние годы наметился новый подход к расчленению интрузивных образований этой провинции, основанный на ее сопоставлении с Центрально-Казахстанской вулканической областью. Массивы девонских гранитоидов (Жельтауский, Каракамысский, Жангызский и другие) были признаны полихронными, абсолютные

датировки большинства интрузивных массивов были пересмотрены и впервые для этой территории представлена принципиально новая схема развития магматизма, в которой показано более 20 новых позднепалеозойских и мезозойских интрузивных комплексов [2]. Каменноугольные комплексы не выделяются, а среди раннепермских наибольшее развитие получили следующие комплексы (от ранних к поздним): каракамысский диорит-гранодиоритовый, жалгызский биотитовых лейкогранитов, сарыбулакский субщелочных биотитовых лейкогранитов, континентально-рифтогенный даек гранит-порфиров, диоритовых и диабазовых порфиров регионального распространения, кокдомбакский монцогаббро-монцодиорит-гранодиоритовый и трангылыкский сиенит-субщелочно-гранитный.

Массивы щелочных гранитов Чу-Илийского, Западно-Балхашского и Заилийского ареалов объединены в алатагылский щелочной комплекс. Щелочные граниты и дайки щелочных гранит-порфиров комплекса прорывают гранитоиды желтауского, каракамысского, жалгызского и монцодиориты кокдомбакского комплексов. Возраст его, предположительно, считается поздне триасовым, однако конкретных доказательств не приводится.

По мнению автора, все щелочные породы выделенных ареалов могут принадлежать единому раннепермскому алатагылскому вулканогенно-интрузивному комплексу. В него могут быть включены экстрезивные и субвулканические тела комендитов Чуйского ареала, а также граносиениты и субщелочные граниты трангылыкского комплекса, содержащие, по данным Е.А. Виноградовой, щелочные амфиболы.

Подвергается сомнению также более раннее возрастное положение раннепермского комплекса даек регионального распространения по отношению к трангылыкскому и алатагылскому комплексам. Эти дайки возникли позже, пересечение ими массивов щелочных гранитов отмечалось ранее [8, 9].

Для более убедительного обоснования выделения алатагылского комплекса и его возрастных соотношений с породами других комплексов необходимо проведение дополнительных исследований.

В целом для всех щелочных пород характерен специфический минеральный состав (наличие щелочных пироксенов и амфиболов), близкие петрохимические характеристики, ярко выраженная редкометалльная специализация (Nb, Zr, TR, Th, U).

Сравнение некоторых петрохимических характеристик щелочных гранитов Чу-Илийского, Западно-Балхашского, Заилийского ареалов и раннепермских щелочных гранитоидов Гоби-Тянь-Шаньской ветви рифтогенной системы также показало их значительное сходство [13].

На территории Кендыктас-Чу-Или-Бетпақдалинской провинции известно более 25 урановых месторождений и множество проявлений. Наиболее крупными являются Бота-Бурумское, Джусандалинское, Кызылсайское и Джиделинское месторождения. Все месторождения к настоящему времени отработаны или законсервированы.

Урановое оруденение большей частью локализуется в девонских вулканогенных породах неков, экструзивной и субвулканической фаций. Большинство месторождений и рудопроявлений относятся к U-Mo типу в березитизированных породах, реже встречаются U-P проявление, сопровождаемые эйситами.

На некоторых месторождениях отмечается приуроченность оруденения к щелочным породам. Так, U-Mo месторождение Каратал (Курманшинское сооружение на Чуйской глыбе) находится среди комендитов и щелочных кварцевых порфиров экструзивной и субвулканической фации. В С-З Прибалхашье известно Шунакское U-Mo рудопроявление, приуроченное к одноименному массиву щелочных гранитов, а в Кызылсайском рудном поле зоны с урановой минерализацией пересекают кольцевое тело щелочных гранитов в позднедевонском Карасайском массиве, а также располагаются в непосредственной близости от Алатагылского массива щелочных гранитов.

Гидротермальная минерализация таких проявлений формировалась в два этапа.

Со щелочными породами связано редкометалльное оруденение раннего этапа. В экструзивно-субвулканических телах комендитов и щелочных кварцевых порфиров на Чуйской глыбе отмечаются зоны калиевошпатизации, альбитизации и своеобразных магнетит-гематит-биотитовых метасоматитов с аномальными геохимическими ореолами Nb, Zr, TR, Th и U. Аналогичные геохимические ореолы, как и многочисленные радиоактивные аномалии U-Th природы, известны вблизи кольцевого тела щелочных гранитов в Карасайском массиве, на площади Алатагылского и Шунакского массивов [2].

Урановая минерализация возникла в поздний этап, проявившийся после внедрения даек гранит-порфиров, микрогаббродiorитов и микродиоритов, секущих щелочные гранитоиды.

Такие дайки распространены на площади практически всех месторождений провинции [17]. Когда большинство гранитных массивов относилось к позднему девону, эти дайки, также, считались позднедевонскими, возникшими вслед за внедрением гранитоидов желтауского комплекса.

В схеме развития магматизма, предложенной Е.А. Виноградовой, дайки гранит-порфиров, микрогаббродiorитов и микродиоритов отнесены к ранней перми [2]. Случаи пересечения урановорудных тел какими-либо дайками неизвестны.

Следует отметить, что, несмотря на многолетние исследования, дайковые комплексы Кендыктас-Чу-Или-Бетпақдалинской провинции все же изучены недостаточно. Возрастные соотношения между упомянутым комплексом даек и малых интрузий регионального распространения и гранитными комплексами разного возраста окончательно не выяснены.

Если принять точку зрения Е.А. Виноградовой [2, 3], то подавляющее большинство месторождений Кендыктас-Чу-Или-Бетпақдалинской провинции, если не все, должны считаться раннепермскими и могут быть связаны с позднепалеозойским континентальным рифтогенезом. Однако этот вывод вступает в противоречие с данными геохронологических исследований руд. По мнению автора, в настоящее время к раннепермским можно отнести только те месторождения и рудопроявления, на площади которых распространены породы раннепермского щелочного комплекса и секущие их дорудные дайки микрогаббродiorитов и микродиоритов. Такими примерами могут служить некоторые месторождения Кызылсайского рудного поля, месторождение Каратал, рудопроявление Шунак. Не исключен раннепермский возраст Бота-Бурумского месторождения, на площади которого распространены граносиениты, вероятно, связанные с Аксуекским граносиенитовым массивом, и месторождения Курдай, где известны тела кварцевых диоритов карасуйского комплекса C_{1-2} и более молодых граносиенитов, а также дорудные позднепалеозойские дайки микрогаббродiorитов и микродиоритов [17].

Развитие диапира спрединговой зоны западного фланга Гоби-Тянь-Шаньской ветви, возможно, продолжалось до мезозоя включительно. Кроме щелочных массивов раннепермского возраста здесь известны тела субщелочных редкометалльных гранитов P_2-T_1 (Актюзское Pb-Zn-TR рудное поле), дайки и диатремы щелочных калиевых мафитов и ультрамафитов (диатрема

Шет-Ботаборум) мезозойского возраста рифтогенного происхождения [2].

Щелочной магматизм и урановое оруденение западного фланга Гоби-Алтайской ветви

Западный фланг Гоби-Алтайской ветви позднепалеозойской рифтогенной системы, реконструированный В.В. Ярмолюком от Джунгарского массива древней консолидации на востоке до Центрально-Казахстанского разлома на западе, охватывает контуры Баканасского синклинория (Восточно-Прибалхашская зона) [19]. Этот фланг выделен на основании распространения известково-щелочных пород кызылкинской серии P_1 , облик которой определяют туфы и игнимбриты трахириолитов, местами контрастно переслаивающихся с базальтами, и эффузивов бимодальной трахибазальт-комендитовой формации курайлинской серии P_2 .

Наиболее крупным элементом западного фланга Гоби-Алтайской ветви является Баканасская вулканоплутоническая структура центрального типа. В ее строении принимают участие трахибазальты и комендиты покровной фации, субвулканические тела щелочных гранит-порфиров, интрузии граносиенитов, щелочных и аляскитовых гранитов. Здесь выделяются три магматических комплекса: ранний вулканогенно-интрузивный комендит-щелочно-гранитный (кукентайский), средний граносиенит-щелочно-гранитный (кызылтасский) и поздний баканасский аляскитовый [7]. Некоторые исследователи интрузивные породы раннего и среднего комплексов объединяют в единый комплекс в составе нордмаркит-щелочно-гранитной формации позднепермского возраста [6].

Восточнее, в Токрауском синклинории, кызылкинская серия сложена разнообразными вулканитами, однако базальты и риолиты преобладают. На некоторых участках наблюдаются контрастные толщи, для которых характерно переслаивание андезитов-базальтов и базальтов с вулканитами трахидацит-трахириолитовой группы [19]. Курайлинская серия здесь не выделяется, однако некоторые исследователи отмечают наличие пород близких к комендитам. В периферической части массива Майтас встречаются граниты с рибекитом и эгирином. Все это дало основание условно выделить ареал распространения щелочных пород, который продолжает на запад Гоби-Алтайскую ветвь.

Широким распространением на площади обоих синклинориев пользуются дайки гранит-порфиров,

сиенит-порфиров, микрогаббро-диоритов, микродиоритов и лампрофиров, образующие разнонаправленные пояса. В Баканасской вулканоплутонической структуре они секут Кукентайский и Кызылтасский массивы и срезаются аляскитовыми гранитами баканасского комплекса.

В Токрауском синклинории находится U-Mo рудопоявление Кызыл [17], расположенное вблизи массива Майтас. Оно приурочено к позднепалеозойскому экструзиву трахириолитов, прорванному дорудными дайками гранит-порфиров, сиенит-порфиров, микрогаббродiorитов и микродиоритов. Дайки образуют пояс С-З простираения. Связь рудопоявления Кызыл с континентальным рифтогенезом вполне вероятна.

Более широко щелочные гранитоиды распространены на территории каледонского Чингиз-Тарбагатайского мегантиклинория и Жарма-Саурской зоны, считающейся переходной между антиклинорием и Зайсанской складчатой системой герцинид. Они объединены в Тлеумбет-Саурский пояс, протягивающийся от оз. Зайсан до С-З Чингиза и входящий в состав Казахстано-Монгольской щелочной провинции. Возникновение щелочных гранитоидов связывается с позднепалеозойским континентальным рифтогенезом Центральной Азии [19].

В С-З Чингизе расположен ареал развития щелочного магматизма, протягивающийся в субмеридиональном направлении от Восточно-Прибалхашской до Жарма-Саурской зоны на расстояние не менее 400 км. Этот ареал находится в непосредственной близости от Центрально-Казахстанского разлома, параллелен ему и, возможно, связан с трансформным разломом спрединговой зоны, заложенным ранее (рис. 1).

Субвулканические тела трахириодацитов, трахириолитов и комендитов, а также массивы щелочных гранитов, сиенитов и граносиенитов, приурочены к девонским вулканическим сооружениям, вмещающим рудопоявления урана и многочисленные радиоактивные аномалии. Промышленные месторождения урана здесь не выявлены.

Рудоносными являются следующие сооружения (с севера на юг): Алкамергенское, Улькентузское с расположенным в 6 км массивом кварцевых сиенитов и щелочных гранитов Тлеумбет, Ушкаринское с массивом граносиенитов и субвулканическим телом трахириодацитовых порфиров (гора Ушкара), Достарское с граносиенитовым массивом Каратас и щелочно-гранитным Куйректыколь и Кайнарское с Абралинским массивом щелочных гранитов. Внутри сооружений щелочные субвулканические тела прорывают не только свежие вулканогенные

породы девона, но и вторичные кварциты по ним, образовавшиеся в результате фумарольно-сульфатной деятельности.

Вулканогенные и интрузивные породы ареала объединены в единый многофазный комплекс пермского возраста. Субвулканическая фация комплекса представлена телами трахириодацитовых порфиров и комендитов, а гипабиссальная — массивами сиенитов и щелочных гранитов. Выделяются следующие основные фазы внедрения: 1 — трахириодацитовые порфиры, 2 — граносиениты, 3 — трахириолиты и комендиты, 4 — щелочные граниты, 5 — дайки гроссидитов. Комплекс характеризуется ярко выраженной редкометалльной специализацией (Nb, Zr, TR, Th, U).

Позднепалеозойский возраст щелочного комплекса был принят на основании фактов прорывания субвулканическими телами трахириодацитовых порфиров, трахириолитов и комендитов терригенных и карбонатных отложений D_{2-3} и D_3-C_1 (Улькентузское, Ушкаринское и Достарское сооружения) и сходства его состава, петрохимических и геохимических характеристик с аналогичными породами южных ветвей позднепалеозойской рифтогенной системы Центральной Азии [12]. В настоящей статье приводятся дополнительные данные, иллюстрирующие близость петрохимических характеристик щелочных пород С-З Чингиза и Баканасской вулканоплутонической структуры (рис. 2) и сходство в распределение редких элементов в щелочных породах С-З Чингиза и Южной Монголии (рис. 3).

Урановое оруденение в вулканических постройках локализуется как в девонских вулканогенных породах, так и в субвулканических телах щелочного состава. Так, U-P проявление Ушкара приурочено к рвущему контакту трахириодацитов с известняками D_3-C_1 , а U-Mo проявление Улькентуз располагается в субвулканическом теле бурых трахириолитов, близких к комендитам. Кроме того, известно U-Mo проявление в девонских вулканогенных породах, приуроченное к западному контакту Тлеумбетского массива щелочных гранитов.

Процесс развития минерализации таких проявлений был двухэтапным. В ранний этап возникли флогопит-магнетит-гематитовые метасоматиты с аномальными содержаниями Nb, Zr, TR, U и Th, выявленные на площади Кайнарской, Достарской, Улькентузской и Алкамергенской вулканических построек. Эти метасоматиты сходны с редкометалльными метасоматитами Чуйской глыбы. В массивах щелочных гранитов известны рудопроявления бериллия и редкоземельных элементов в зонах

калиевошпатизации и альбитизации, пересекаемых флогопит-гематитовыми прожилками (Тлеумбетское).

В поздний этап минерализации, после внедрения даек микрогабброидитов, микродиоритов

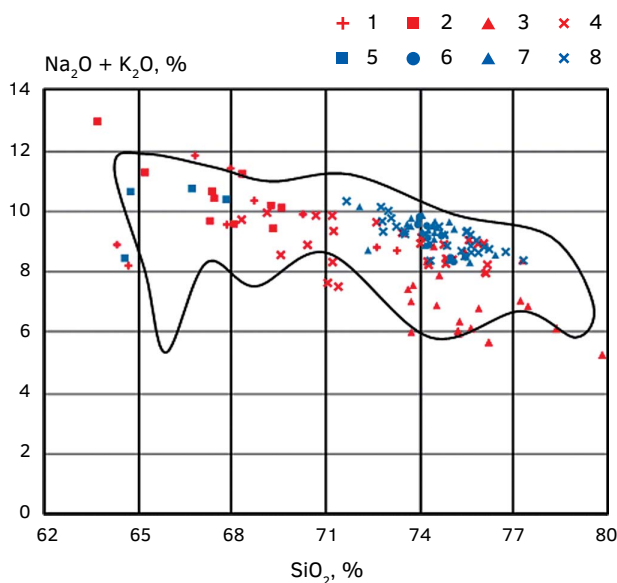


Рис. 2. TAS-диаграмма суммы щелочей — кремнезем для пород пермского щелочного вулканогенно-интрузивного комплекса С-З Чингиза и Баканасской вулканоплутонической структуры Восточно-Прибалхашской зоны.

Условные обозначения: 1—4 — щелочные породы С-З Чингиза: 1 — трахириодациты субвулканической фации; 2 — граносиениты; 3 — трахириолиты и комендиты субвулканической фации; 4 — щелочные граниты; 5—8 — щелочные породы Баканасской структуры: 5 — граносиениты; 6 — комендиты покровной фации; 7 — щелочные гранит-порфиры субвулканической фации; 8 — щелочные граниты; контуром изображено поле составов трахидацитов и комендитов бимодальных ассоциаций южных ветвей Центрально-Азиатской рифтовой системы (Монголия) [19]

Fig. 2. TAS diagram of total alkali-silica for rocks of the Permian alkaline volcanogenic-intrusive complex NW of Chingiz and the Bakanas volcanoplutonic structure of the East Balkhash zone.

Conventions: 1—4 — alkaline rocks of S-W-Chingiz: 1 — trachyrhyodacites of subvolcanic facies; 2 — granosyenites; 3 — trachyrhyolites and comendites of subvolcanic facies; 4 — alkaline granites; 5—8 — alkaline rocks of the Bakanas structure: 5 — granosyenites; 6 — cover facies comendites; 7 — alkaline granite-porphyrines of subvolcanic facies; 8 — alkaline granites; the contour shows the field of compositions of trachydacites and comendites of bimodal associations of the southern branches of the Central Asian rift system (Mongolia) [19]

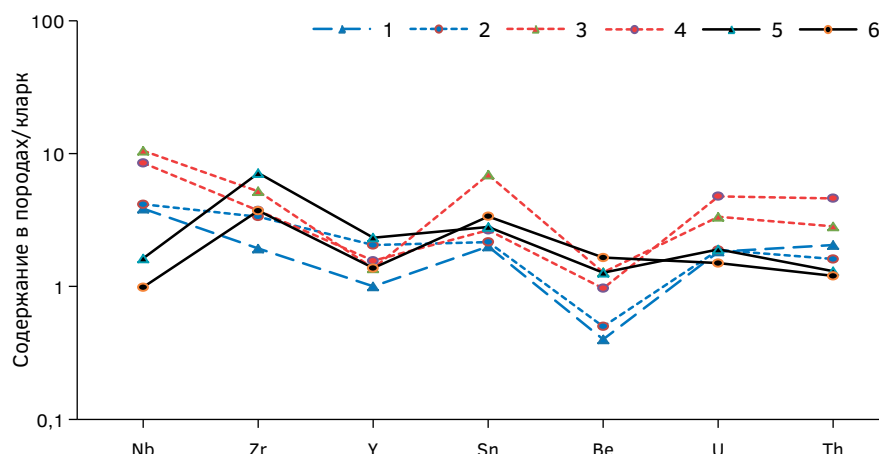


Рис. 3. График распределения редких и радиоактивных элементов в трахириолитах (комендитах) и щелочных гранитах позднепалеозойских вулканогенно-интрузивных комплексов С-З Чингиза и Южной Монголии.

Условные обозначения: 1 — трахириолиты субвулканической фации Улькентуз-Каражирского вулканического сооружения; 2 — щелочные граниты массива Тлеумбет; 3 — трахириолиты и комендиты субвулканической фации Достарского вулканического сооружения; 4 — щелочные граниты массива Куйректыколь; 5—6 — породы южных ветвей позднепалеозойской рифтогенной системы Центральной Азии (Монголия): 5 — комендиты; 6 — щелочные граниты. Для построения графика для пород Монголии использованы результаты геохимических анализов из диссертации А.В. Горегляда (1985)

Fig. 3. Graph of the distribution of rare and radioactive elements in trachyrhyolites (comendites) and alkaline granites of the Late Paleozoic volcanogenic-intrusive complexes NW of Chingiz and Southern Mongolia.

Conventions: 1 — trachyrhyolites of the subvolcanic facies of the Ulkentuz-Karazhyr volcanic structure; 2 — alkaline granites of the Tlieumbet massif; 3 — trachyrhyolites and comendites of the subvolcanic facies of the Dostarsky volcanic structure; 4 — alkaline granites of the Kuyrektykol massif; 5—6 — rocks of the southern branches of the Late Paleozoic rift system of Central Asia (Mongolia): 5 — comendites; 6 — alkaline granites. To build a graph for the rocks of Mongolia, the results of geochemical analyzes from the dissertation of A.V. Goreglyada (1985)

и лампрофиров, относимых к самостоятельному комплексу даек и малых интрузий, образовались рудопроявления U-P и U-Mo типов. Иногда дайки образуют протяженные пояса. Один из таких поясов меридионального простираения пересекает сиениты и щелочные граниты массива Тлеумбет. Пересечение рудными зонами обоих типов минерализации даек микродиоритов и лампрофиров отмечалось на площади большинства вулканических сооружений.

Таким образом, все известные урановые рудопроявления, расположенные в С-З Чингизе, могут быть позднепалеозойскими. Большинство из них ассоциирует со щелочными вулканогенными породами экструзивной и субвулканической фации, относимых к пермскому вулканогенно-интрузивному комплексу континентально-рифтогенного происхождения.

В Жарма-Саурской зоне известно U-Mo рудопроявление Улькен-Акжал, расположенное в 75 км к юго-западу от г. Семипалатинск. Рудопроявление приурочено к куполовидному вулканическому сооружению, сложенному дацитовыми порфирами,

риолитами и туфами коконьской свиты C_1 [16]. Сооружение находится в зоне крупного разлома, протягивающегося в С-З направлении от оз. Зайсан до оз. Карасор на расстояние более 500 км. В разных частях этой зоны встречаются редкие массивы и дайки щелочных гранитов, выделяемых в составе пермского Тлеумбет-Саурского пояса щелочных интрузий. На площади рудопроявления распространены дорудные дайки микрогаббродиоритов, секущие окварцованные и серицитизированные вулканические породы [17, 18]. Эти дайки отнесены к самостоятельному комплексу регионального распространения. Считается, что дайки пересекают соседний раннекаменноугольный Коконьский гранодиорит-гранитный массив, однако возрастные соотношения их с расположенным вблизи массивом щелочных гранитов Акбиик остаются не выясненными. Несмотря на некоторые различия в минеральном составе руд проявлений Улькентуз и Улькен-Акжал, их элементный состав поразительно сходен (рис. 4). Связь рудопроявления Улькен-Акжал с позднепалеозойским континентальным рифтогенезом вполне возможна.

Выводы

1. Западные фланги южных ветвей позднепалеозойской континентально-рифтогенной системы Центральной Азии являются ураноносными.

С Гоби-Тянь-Шаньской ветвью связаны урановые месторождения Чаткало-Нарынской зоны и ряд месторождений и рудопроявлений Кендыктас-Чу-Или-Бетпакдалинской ураноносной провинции, на площади которых проявлен щелочной магматизм.

С Гоби-Алтайской ветвью ассоциируют рудопроявления С-З Чингиза, а также могут быть связаны рудопроявления, расположенные в каменноугольных и пермских вулканических сооружениях соседних структурно-формационных зон.

2. Процесс развития гидротермальной минерализации на площади урановых месторождений и рудопроявлений, ассоциирующих со щелочным комплексом, был, как минимум, двухэтапным. В ранний этап, после кристаллизации щелочных пород, возникла редкометалльная минерализация в альбититах и флогопит-магнетитовых метасоматитах, относящаяся к редкометалльно-альбититовой формации. В поздний этап, после внедрения даек микроаббродиоритов, микродиоритов и лампрофиров, образовались зоны эйситов и березитов, соответственно, с U-P и U-Mo оруденением.

3. Несмотря на длительное и всестороннее изучение магматизма и уранового оруденения Кендыктас-Чу-Или-Бетпакдалинской провинции, многие вопросы остаются не выясненными. Окончательно не определен возраст щелочных

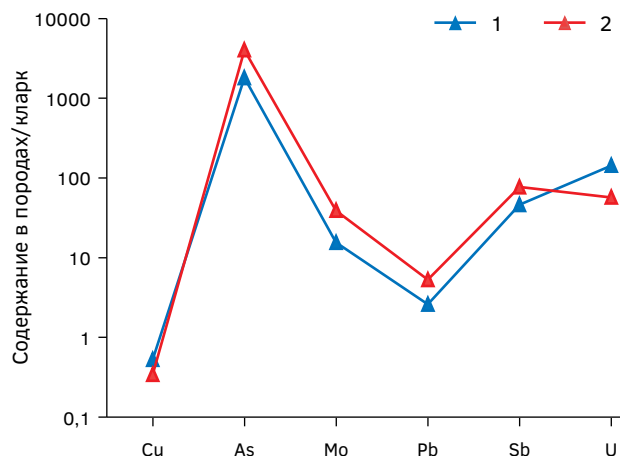


Рис. 4. График содержаний урана и сопутствующих элементов в руде Улькентуза (1) и Улькен-Акжала (2)
Fig. 4. Graph of the contents of uranium and related elements in the ore of Ulkentuz (1) and Ulken-Akzhala (2)

пород, не ясна последовательность внедрения даек регионального распространения и их возрастные соотношения с гранитными комплексами разного возраста, не отделена в пространстве урановая минерализация девонского (D_3 — C_1) и позднепалеозойского (P) этапов.

Установление ураноносности западных флангов южных ветвей позднепалеозойской континентально-рифтогенной системы Центральной Азии может иметь значение как для металлогенических построений, так и для планирования дальнейших поисковых работ.

ЛИТЕРАТУРА

- Буртман В.С. Тектоника и геодинамика Тянь-Шаня в среднем и позднем палеозое // Геотектоника. 2015. № 4. С. 67—85.
- Виноградова Е.А. Фанерозойский интрузивный магматизм Центрального Казахстана и Бетпак-Дала-Шу-Илийского региона (Республика Казахстан). РК // Горно-геологический журнал. 2009. № 3—4. С. 8—25.
- Виноградова Е.А. Альперович-Ландо Е.В., Попов Л.Е. Фанерозойская история геологического развития и металлогении Казахстана. РК // Горно-геологический журнал. 2011. № 1—2. С. 9—14.
- Гесь М.Д., Селиверстов К.В. Геодинамика, магматическая и металлогеническая зональность окраины Палеотетиса (Чаткальский регион Тянь-Шаня) // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37, № 2. С. 132—141.
- Далимов Н.Р. Пермь-раннемеловой внутримитный магматизм Среднего Тянь-Шаня // В кн. «Инновационные подходы в современной науке». Сб. статей по материалам XXXIX междунар. науч.-практ. конф. № 3 (39). М.: Интернаука, 2019.
- Добрецов Г.Л. Варисийский гранитоидный магматизм Казахстана (геология, формации, генетические модели) // Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. Т. 284. Л.: Недра, 1985. 252 с.
- Ермолов П.В., Тихомирова Н.И., Владимиров А.Г. Петрология комендитов и щелочных гранитов Баканасской вулканоплутонической структуры Центрального Казахстана // Геология и геофизика. 1987. №3. С. 45—55.
- Ефремова С.В. Об интрузивах щелочных (рибекитовых) гранитов Бет-Пак-Далы (Центральный Казахстан) // Известия АН СССР. Серия геол. 1962. №10. С. 33—45.
- Ефремова С.В. Дайки в гранитоидных комплексах Центрального Казахстана. М.: Наука, 1970. 238 с.
- Зоненшайн Л.П. и др. Глобальная тектоника, магматизм и металлогения. М.: Недра, 1976. 231 с.

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

11. Лаверов Н.П. и др. Основы прогноза урановорудных провинций и районов. М.: Недра, 1986. 206 с.
12. Малютин С.А. Позднепалеозойские вулканоплутонические ассоциации северо-запада Чингиз-Тарбагатайского мегантиклинория и оруденение // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2013. № 6. С. 13—24.
13. Малютин С.А. Позднепалеозойский щелочно-гранитоидный магматизм Южного Казахстана и его участие в строении рудоносных вулканических сооружений Кендыктас-Чу-Или-Бетпақдалинской ураноносной провинции // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2018. № 3. С. 33—42.
14. Петров Н.Н., Берикболов Б.П., Аубакиров Х.Б. и др. Урановые месторождения Казахстана (экзогенные). Алматы: АО «Волковгеология», 2008. 320 с.
15. Рафиков Я.М., Юсупов Р.Г. Флюоритоносность раннепермской трахириолит-лейкогранитной вулканоплутонической ассоциации (Срединный Тянь-Шань) // Отечественная геология. 2019. № 1. С. 59—67.
16. Сельцов Б.М. Геологическое строение района куполовидного палеовулкана гор Улькен-Акжал (Восточный Казахстан). В кн. «Геология липаритовой формации районов Средней Азии и Казахстана» М.: Наука, 1972. С.170—182.
17. Справочник месторождений Казахстана. 2014. URL: <http://info.geology.gov.kz/ru/informatsiya/spravochnik-mestorozhdenij-kazahstana/tverdye-poleznye-iskopaemye> (дата обращения 20.11.2019).
18. Яковлев П.Д., Малютин С.А. Об этапах и стадиях гидротермальной минерализации молибден-уранового рудопроявления, приуроченного к вулканическому сооружению // Записки Всесоюзного минералогического общества. 1976. Ч. 105, вып. 2. С. 247—254.
19. Ярмолюк В.В. Позднепалеозойский вулканизм континентальных рифтогенных структур Центральной Азии. М.: Наука, 1983. 298 с.
20. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И. Рифтогенный магматизм активных континентальных окраин и его рудоносность. М.: Наука, 1991. 263 с.

REFERENCES

1. Burtman V.S. Tectonics and geodynamics of the Tien Shan in the middle and late Paleozoic. Geotectonika. 2015. No. 4., P. 67—85 (In Russian).
2. Vinogradova Ye.A. Phanerozoic intrusive magmatism of the Central Kazakhstan and Betpak-Dala-Shu-Ili region (Republic of Kazakhstan). Gorno-geologicheskij jurnal = Mining magazine. 2009. No. 3—4. P. 8—25 (In Russian).
3. Vinogradova Ye.A., Alperovich-Lando Ye.V., Popov L.Ye. Phanerozoic history of geological development and metallogeny of Kazakhstan. Gorno-geologicheskij jurnal = Mining magazine. 2011. No. 1—2. P. 9—14 (In Russian).
4. Ges M.D., Seliverstov K.V. Geodynamics, magmatic and metallogenic zoning of the outskirts Paleothetis (Chatkal region of the Tien Shan) // Geology of ore deposits. 1995. Vol. 37, no. 2. P. 132—141 (In Russian).
5. Dalimov N.P., Dalimov P.T. Perm-Early Cretaceous intraplate magmatism of the middle Tien Shan. "Innovative approaches in the modern science". Proceedings of XXXIX international scientific-practical conference. Moscow: Internauka Publ., 2019. No. 3 (39). P. 8—26 (In Russian).
6. Dobretsov G. L. Variscian granitoid magmatism in Kazakhstan (Geology, formations, genetic models). Proceedings of A.P. Karpinsky Russian geological research institute. New series. Vol. 284. Leningrad: Nedra Publ., 1985, 252 p. (In Russian.)
7. Ermolov P.V., Tikhomirova N.I., Vladimirov A.G. Petrology of komendites and alkaline granites of the Bakanas volcano-plutonic structure of Central Kazakhstan // Geology and geophysics. 1987. No. 3. pp. 45—55.
8. Efremova S.V. About the alkaline intrusions (riebeckite) granites of the Bet-Pak-Dala (Central Kazakhstan). Izvestiya AN USSR –[News of the URSS Academy of Sciences]. A series of geological. 1962, no.10, pp. 33—45. (In Russian.)
9. Efremova S.V. Dikes in granitoid complexes of Central Kazakhstan. Moscow: Nauka Publ. 1970, 238 p. (In Russian.)
10. Zonenshain L.P. et al. Global tectonics, magmatism and metallogeny. Moscow: Nedra Publ., 1976. 231 p.
11. Laverov N.P. et al. Fundamentals of the forecast of uranium ore provinces and districts. Moscow: Nedra Publ., 1986. 206 p.
12. Malyutin S.A. Late Paleozoic volcanic-plutonic association of North-West Chingiz-Tarbagatay meganticlinorium and mineralization. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy = News of higher educational establishments. Geology and exploration. 2013. No. 6. P. 13—24 (In Russian).
13. Malyutin S.A. Late Paleozoic alkali-granitoid magmatism of Southern Kazakhstan and its role in the formation of the ore-bearing volcanic structures of Kendyctas-Chu-Ili-Betpac-Dala uranium ore province. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy = News of higher educational establishments. Geology and exploration. 2018. No. 3. P. 33—42 (In Russian).
14. Petrov N.N., Berikbolov B.R., Aubakirov H.B. et al. Uranium deposits of Kazakhstan (exogenous). Almaty: Volkovgeologiya. 2008. 320 p. (In Russian).
15. Rafikov Ya.M., Yusupov R.G. Fluorite-bearing early Permian trachyrhyolite-leucogranitic volcano-plutonic associations (middle Tien-Shan) // Domestic Geology. 2019. No. 1. P. 59—67 (In Russian).
16. Seltsov B.M. Geological structure of the area of the dome-shaped paleovolcano of the Ulken-Akzhai mountains (East Kazakhstan). In the book "Geology of the liparite formation of the regions of Central Asia and Kazakhstan". Moscow: Nauka Publ., 1972, pp.170—182.

17. Directory of deposits of Kazakhstan. 2014 (In Russian). Available at: <http://info.geology.gov.kz/ru/informatsiya/spravochnik-mestorozhdenij-kazakhstana/tverdye-poleznye-iskopaemye> (accessed 20.11.2019).
18. Yakovlev P.D., Malyutin S.A. On the stages and stages of hydrothermal mineralization of a molybdenum-uranium ore occurrence associated with a volcanic structure // Notes of the all-Union mineralogical society. 1976. P. 105, vol. 2. P. 247—254 (In Russian).
19. Yarmolyuk V.V. Late Paleozoic volcanism of continental-rift structures of Central Asia. Moscow: Nauka Publ., 1983. 298 p. (In Russian).
20. Yarmolyuk V.V., Kovalenko V.I. Riftogenic magmatism of active continental margins and its ore bearing. Moscow: Nauka Publ., 1991, 263 p. (In Russian).

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Малютин С.А. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Sergey A. Malyutin — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT AUTHOR

Малютин Сергей Александрович — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
Тел.: 8 (915)-311-73-50

E-mail: geopoisk2013@yandex.ru

SPIN-код: 4968-3696

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6507-8680>

Sergey A. Malyutin — Cand. of Sci. (Geol. and Mineral.), Docent of the Department of Geology of Mineral Deposits Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
Tel.: +7 (915)-311-73-50

E-mail: geopoisk2013@yandex.ru

SPIN-code: 4968-3696

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6507-8680>



ВЛИЯНИЕ ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ НА ПРОЦЕССЫ АККУМУЛЯЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.В. ГОРЕВА

ФГБУН «Институт проблем нефти и газа РАН»
3, ул. Губкина, г. Москва 119333, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Гидрогеологический анализ является необходимой составляющей комплексного прогноза нефтегазоносности недр любого региона. На раннем этапе развития нефтегазовой гидрогеологии (40—70-е годы XX века) велось активное изучение условий аккумуляции углеводородов (УВ) на глубинах порядка 1—2 км; здесь установлено широкое развитие вод метеогенного происхождения. На длительное время интерес к исследованию инфильтрационных систем нефтегазоносных бассейнов (НГБ) был утрачен несмотря на то, что колоссальные ресурсы УВ Западной Сибири, Провинции Альберта (Канада), Норвежско-Датского НГБ (Норвегия), Провинции Джунгар (Китай) сопряжены именно с инфильтрационным гидродинамическим режимом (ИГР). Возобновление исследований углеводородных систем, контролируемых ИГР, целесообразно как с общетеоретических позиций, так и для решения прикладных задач поисков залежей УВ, в том числе и неструктурного типа. В особой мере это важно для НГБ с длительной историей их эксплуатации, где фонд месторождений УВ, приуроченных к антиклинальным структурам, во многом исчерпан.

Цель — рассмотрение вопросов влияния ИГР на процессы аккумуляции УВ, формирования и сохранения их скоплений на севере Западной Сибири.

Результаты. Рассмотрены особенности инфильтрационной системы севера Западно-Сибирского гидрогеологического бассейна; обоснован вывод о его единстве в пределах континентальной и акваториальной частей. Показано, что особенностью бассейна является наличие внутренней зоны разгрузки, в современном плане приуроченной к Обской губе. На основе анализа гидродинамических потенциалов в пределах альб-сеноманского комплекса выявлены локализованные очаги скоплений углеводородов, сформированные без контроля структурным фактором.

Ключевые слова: углеводороды, газ, инфильтрационная водонапорная система, гидродинамические потенциалы, минерализация, химический состав, газонасыщенность пластовых вод

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: работа выполнена за счет бюджетных средств по ежегодному госзаданию Министерства науки и высшего образования РФ «Развитие научно-методических основ поисков крупных скоплений УВ в неструктурных ловушках комбинированного типа в пределах платформенных нефтегазоносных бассейнов» (2019—2021 гг.) Института проблем нефти и газа Российской академии наук.

Для цитирования: Горева А.В. Влияние инфильтрационных режимов на процессы аккумуляции углеводородов в северной части Западной Сибири. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(1):30—37. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-30-37>

Статья поступила в редакцию 24.07.2020

Принята к публикации 23.05.2022

Опубликована 22.06.2022

INFLUENCE OF INFILTRATION REGIMES ON HYDROCARBON ACCUMULATION PROCESSES IN NORTHERN PART OF WEST SIBERIA

ALEKSANDRA V. GOREVA

*Oil and Gas Research Institute of RAS
3, Gubkin str., Moscow 119333, Russia*

ABSTRACT

Background. Hydrogeological analysis is necessary for a comprehensive forecast of oil and gas deposits in any region. Early in the development of petroleum hydrogeology in the 1940–1970s, conditions for hydrocarbon (HC) accumulation were actively examined at depths of about 1–2 km, where meteoric waters often occur. However, for a long time, there was no interest in exploring petroleum basin infiltration systems despite the colossal hydrocarbon resources in West Siberia, Alberta (Canada), the Norwegian-Danish oil and gas basin (Norway) and Jungar Banner (China), which are associated with an infiltration hydrodynamic regime (IHR). The resumption of research into hydrocarbon systems controlled by IHR is advisable for theoretical and advanced applications in the exploration of hydrocarbon deposits, including non-structural hydrocarbon accumulation. This is essential for oil and gas fields with a long well production history, where the resources of hydrocarbon deposits associated with anticline structures have largely been exhausted.

Aim. To elaborate on the influence of IHR on the HC accumulation processes, the evolution and preservation of these accumulations in the Northern part of West Siberia.

Results. The authors discussed features of the infiltration system of the Northern part of the West Siberian hydrogeological basin and proved its unity within the onshore and offshore regions. It was shown that a specific feature of this basin consists in an internal discharge zone associated with the Gulf of Ob in modern plans. Based on analysis of hydrodynamic potentials within the Albian-Cenomanian complex, local accumulations of hydrocarbons, formed in the absence of control from the structural factor, were revealed.

Keywords: hydrocarbons, gas, water drive infiltration system, hydrodynamic potential, mineralisation, chemical composition, reservoir waters gas saturation

Conflict of interests. There are no conflicts of interest to declare.

Financial disclosure. The work was performed with state funding following the annual State assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation entitled “Development of scientific and methodological principals of exploration of large HC accumulations in non-structural oil traps of combined type within platform oil and gas-bearing basins» (2019–2021), Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences”.

For citation: Goreva A.V. Influence of infiltration regimes on hydrocarbon accumulation processes in northern part of West Siberia. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(1):30–37. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-30-37>

Manuscript received 24 July 2020

Accepted 23 May 2022

Published 22 June 2022

Гидрогеологический анализ, несомненно, является необходимой составляющей комплексного прогноза нефтегазоносности недр любого региона. На раннем этапе развития нефтегазовой гидрогеологии (40–70-е годы XX века) велось активное изучение условий аккумуляции углеводородов (УВ) на глубинах порядка 1–2 км; здесь установлено широкое развитие

вод метеогенного происхождения [8, 18]. Были выявлены характеристики инфильтрационных систем, в частности установлена гидродинамическая и гидрохимическая зональности. Однако в последующие годы в связи с тенденцией поисков скоплений УВ на больших глубинах основным объектом исследования стали элизионные системы [14, 22]. На длительное время интерес к исследованию

инфильтрационных систем нефтегазоносных бассейнов (НГБ) был утрачен несмотря на то, что колоссальные ресурсы УВ Западной Сибири, Провинции Альберта (Канада), Норвежско-Датского НГБ (Норвегия), Провинции Джунгар (Китай) сопряжены именно с инфильтрационным гидродинамическим режимом (ИГР). Возобновление исследований углеводородных систем, контролируемых ИГР, целесообразно как с общетеоретических позиций, так и для решения прикладных задач поисков залежей УВ, в том числе и неструктурного типа. В особой мере это важно для НГБ с длительной историей их эксплуатации, где фонд месторождений УВ, приуроченных к антиклинальным структурам, во многом исчерпан.

Общеизвестен вклад верхнемелового комплекса Западной Сибири в ресурсное обеспечение нефтегазовой отрасли страны [11]. Тем не менее этот комплекс в гидрогеологическом отношении исследован слабо. Череда открытий западносибирских газовых месторождений опередила проведение детальных гидрогеологических исследований, перспективных на нефть и газ объектов: даже для таких гигантов, как месторождения Медвежье, Уренгойское, Ямбургское, единичны данные, характеризующие состав пластовых вод и энергетические характеристики водонапорной системы на допромысловом этапе.

Региональные гидрогеологические исследования также были выполнены в крайне ограниченном объеме. Как следствие, долгое время вопрос о северной границе Западно-Сибирского бассейна носит дискуссионный характер. В частности, одна из известных точек зрения сводится к тому, что Западно-Сибирский, Енисей-Хатангский и Ямало-Карский гидрогеологические бассейны составляют единый Западно-Сибирский гидрогеологический мегабассейн [15]. Однако достаточных гидрогеологических данных, доказывающих автономность этих гидрогеологических систем, до сих пор не получено.

На основании современного анализа геологического строения Ямальского и Карского регионов [2, 10, 17] можно более определенно говорить о том, что граница единого Западно-Сибирского гидрогеологического мегабассейна замыкается по Новоземельско-Пайхойскому поднятию, Приполярному Уралу, Северо-Сибирскому порогу, которые выполняют роль областей инфильтрационного питания.

Для альбского века чередование прибрежно-морских и континентальных фаций — ярко выраженная особенность района. Полузамкнутые мелководные водоемы (глубиной порядка

100 м) сохранялись и в сеноманском веке на фоне продолжающегося обмеления бассейна и усиления его опреснения за счет повышения роли инфильтрационного питания, особенно в северном и северо-восточном направлениях. За позднемеловое время сформировались две особенности гидрогеологического режима. На обширной территории Западной Сибири господствовал режим свободного водообмена, это приводило в меловом комплексе к выравниванию гидродинамических потенциалов и сплошному развитию гидростатических давлений. За счет частой смены регрессивных и трансгрессивных тектонических процессов локальные очаги аномально высокого пластового давления не могли существовать длительное время [7], даже если они образовывались в объеме глинистых отложений и под их подошвой, в том числе и под региональными флюидопорами.

Еще одна особенность связана с большеобъемным накоплением угленосных отложений. Флюидогенерация, сопутствующая преобразованию углей, способствовала обогащению верхнемелового комплекса многими жидкими и газообразными веществами, наиболее значительным из которых был CO_2 [4]. Как следствие, нарушалось геохимическое равновесие в системе «вода — порода». Это приводило к растворению карбонатных включений, содержащихся в терригенных пластах и без того в незначительных концентрациях. Такой процесс, с одной стороны, способствовал повышению объема пустотного пространства терригенных коллекторов, с другой — обуславливал подземную химическую эрозию коллекторов, частично разрушающую текстуру пород в промысловых условиях, которая проявляется многочисленными примерами пескования эксплуатационных скважин.

В течение практически всего периода формирования Западно-Сибирского гидрогеологического бассейна орогены байкальской (Пайхой), позднегерцинско-киммерийской (Новая Земля, Таймыр) складчатостей совместно с такими структурами, как Северо-Сибирский порог и Западно-Таймырская ступень, являлись северными, разновозрастными границами бассейна и выполняли функцию его областей питания. Однако эти структуры, будучи ограниченными системой крупных разломов, вряд ли надолго сохраняли свою роль регионально значимых областей инфильтрационного питания. По аналогии с другими гидрогеологическими бассейнами можно считать, что роль внешних областей питания становится ничтожной даже на сопредельных к орогенным сооружениям предгорных прогибах, моноклинах и ступенях [1].

Переходная зона от инфильтрационного к элизионному питанию, вполне вероятно, занимала как пологие моноклинали (Восточно-Новоземельская моноклираль и др.), так и ступенчатые внутренние борты (Байдарацкая, Восточно-Новоземельская, Северо-Сибирская, Западно-Таймырская ступени).

На взгляд автора, схема гидрогеологической зональности Западно-Сибирского мезозойского бассейна [13] может быть детализирована, как показано на рисунке 1, по которому видно, что область разгрузки потока подземных вод

всего мезозойского комплекса на севере Западной Сибири приурочена к акватории Карского моря. Об этом говорит резкий спад пластовых давлений в пределах площадей Обской губы. Нисходящая миграция флюидов в процессе геологической истории могла реализовываться неоднократно, вероятно, происходит и в настоящее время. Глубина проникновения вод инфильтрационного генезиса в водоносные комплексы мелового и юрского возрастов пока точному определению не подлежит. На многочисленные локальные проявления субгидростатических пластовых давлений

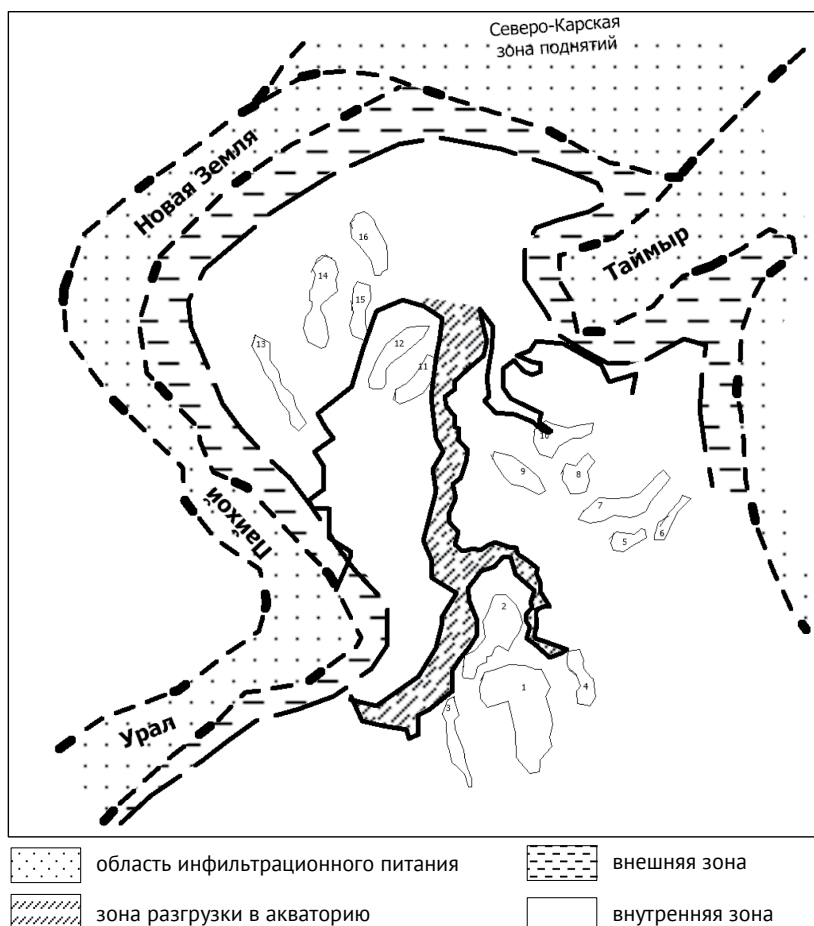


Рис. 1. Детализированная схема северного замыкания Западно-Сибирского гидрогеологического бассейна (Горева А.В., 2020 г.).

Условные обозначения: 1 — Уренгойское месторождение, 2 — Ямбургское месторождение, 3 — Медвежье месторождение, 4 — Русское месторождение, 5 — Мессояхское месторождение, 6 — Малохетское месторождение, 7 — Танамское месторождение, 8 — Салпадинская группа поднятий, 9 — Гыданский свод, 10 — Гыдоямская группа поднятий, 11 — Средне-Ямальское месторождение, 12 — Северо-Ямальское месторождение, 13 — Обручевское месторождение, 14 — Русановское месторождение, 15 — Скуратовское месторождение

Fig. 1. Detailed scheme of the northern closing of the West Siberian hydrogeological basin (A.V. Goreva, 2019).

Legend: 1 — Urengoyское field, 2 — Yamburgское field, 3 — Medvezhie field, 4 — Russkoe field, 5 — Messoyakhское field, 6 — Malokhetskoe field, 7 — Tanamskoe field, 8 — Salpadinskaya group of reclamations, 9 — Gydanskiy uplift, 10 — Gydoyamskaya group of reclamations, 11 — Sredne-Yamalskoe field, 12 — Severo-Yamalskoe field, 13 — Obruchevskoe field, 14 — Rusanovskoe field, 15 — Skuratovskoe field

обращалось внимание в работах В.В. Нелюбина, В.М. Матусевича, А.Р. Курчикова, Д.А. Новикова, в которых, в частности, показано, что градиенты пластовых давлений резко убывают от южной континентальной части (0,00005—0,0004) к северной акваториальной (0,0005—0,001) [12].

Низкие статические уровни подземных вод на границе с акваторией Карского моря объясняются как глобальными, так и локальными явлениями — понижением уровня Мирового океана [9, 16 и др.], уменьшением внутреннего пространства в породах после оттаивания мерзлоты, подземного льда, промерзанием вышележащих пород, охлаждением и уменьшением объема флюидов [20].

Наиболее низкие приведенные статические уровни отмечены на Тазовском, Ямбургском,

Ямсовейском, Семаковском, Геофизическом, Южно-Тамбейском, Новопортовском и других месторождениях побережья Обской и Тазовской губ. Севернее Тазовского месторождения фиксируются даже отрицательные значения приведенных статических уровней, а на месторождениях Нурминского мегава-ла статические уровни хотя и имеют положительные значения, но также снижаются в северо-западном направлении от 15—18 м (Нурминское и Средне-Ямальское месторождения) до 9—11 м (Нейтинское, Бованенковское месторождения), а на Харасавейском месторождении до 1 м [12].

Дефицит пластовых давлений имеет место в Усть-Енисейском районе на Семеновской и Малохетской площадях (статические уровни на 6 м ниже уровня моря) и, возможно, на Геофизической

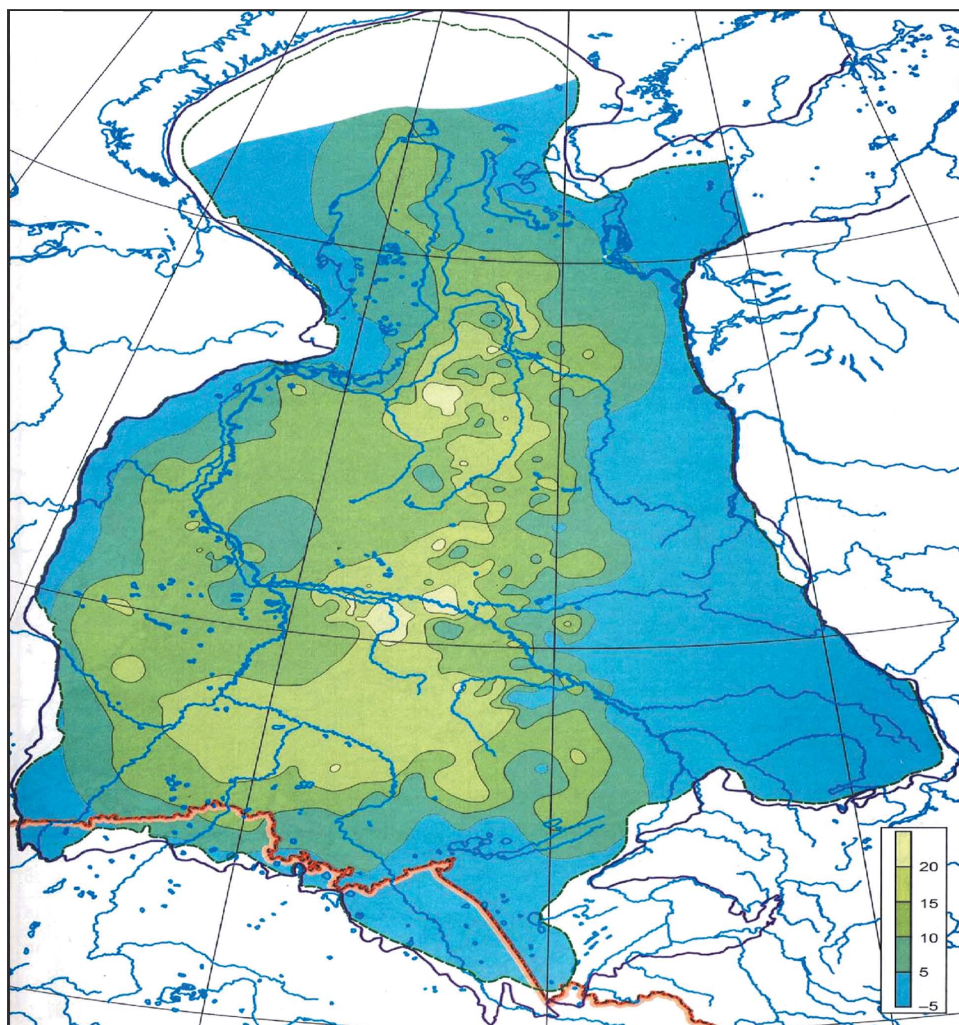


Рис. 2. Схематическая карта минерализации (г/дм^3) альб-сеноманских отложений Западно-Сибирского гидро-геологического бассейна (Ставицкий Б.П., Курчиков А.Р., Конторович А.Э., Плавник А.Г., 2004 г.)

Fig. 2. Schematic map of mineralization (g/dm^3) of the Albian-Cenomanian deposits of the West Siberian hydrogeological basin (Stavitskiy B.P., Kurchikov A.P., Kontorovich A.E., Plavnik A.G., 2004)

площади [3, 12]. О масштабности латерального потока косвенно свидетельствуют и смещения в пределы Карского моря внешней опресненной зоны Западно-Сибирской водонапорной системы, которая «затягивается» в акваторию, что иллюстрирует рисунок 2 [19].

Итак, верхняя — инфильтрационная, наиболее обширная по площади и приуроченная в основном к верхнемеловой части разреза, система во многом определяет процессы миграции воды и газа из материковых частей региона к шельфовым, а газа — еще далее, по направлению к Ямалу [5,

6]. Криогенные явления усиливают процессы формирования регионального гидродинамического потока в сторону южной акватории Карского моря. Отчасти поэтому все сеноманские залежи, массивные водоплавающие, имеют единый горизонтальный или направленный в сторону гидравлического уклона газоводяной контакт. Для «цепочки» месторождений Медвежье → Бованенковское → Круzenштернское → Харасавэйское выявленная зависимость запасов УВ от гипсометрического положения объясняется наложенным эффектом от вертикальной и латеральной миграции УВ,

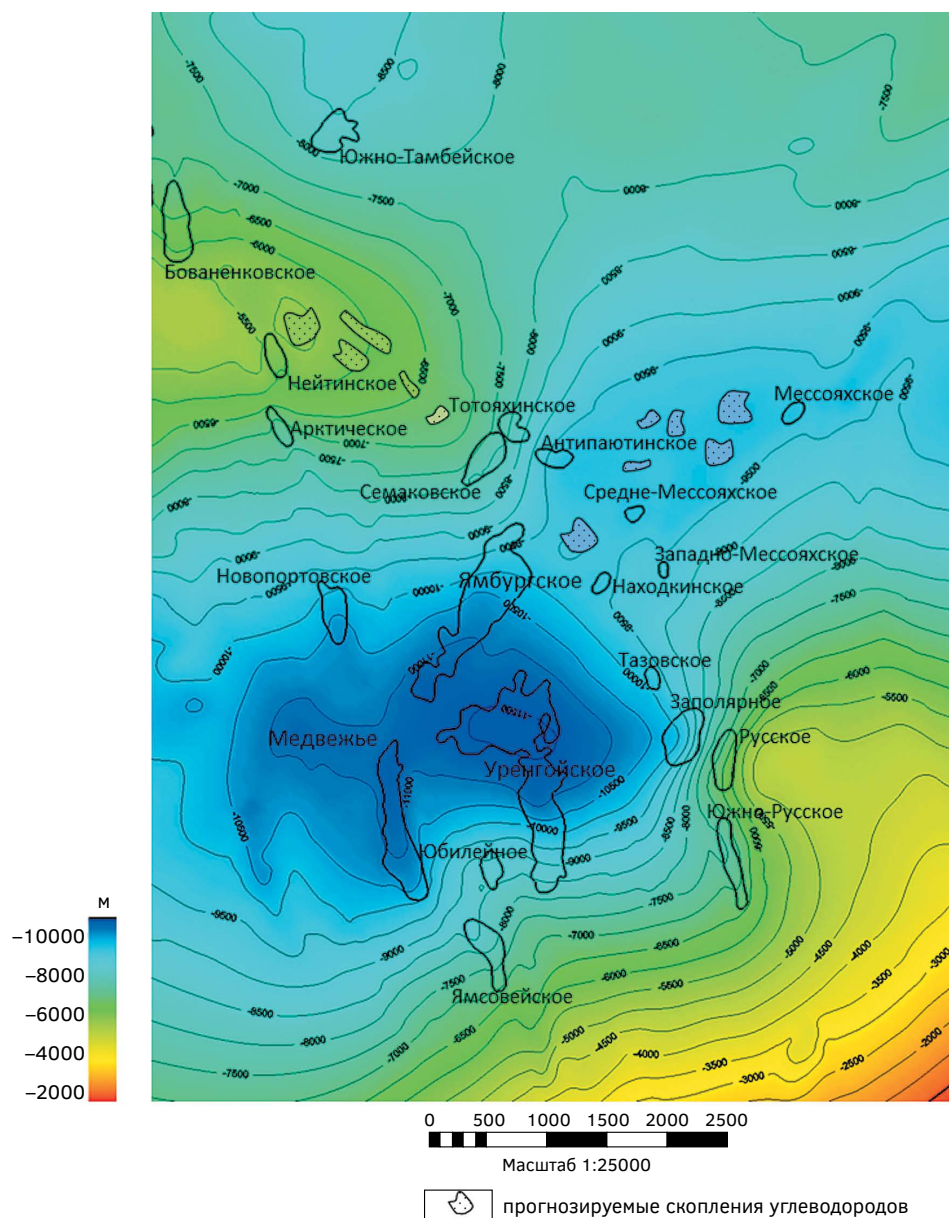


Рис. 3. Положение прогнозируемых скоплений углеводородов (Горева А.В., 2019 г.)

Fig. 3. Position of prognosticated hydrocarbon accumulations (A.V. Goreva, 2019)

происходящей с олигоценового времени транзитно от континентальных газовых гигантов в сторону шельфа Карского моря, по восстанию к Нурминскому и Русановскому мегавалам и далее к Обручевскому мегавалу. В пределах последнего возможно обнаружение еще не открытых крупных зон газонакопления за счет струйной миграции и дегазации предельно насыщенных пластовых вод. В зоне увеличения гидравлических напоров (минимизации гидродинамических потенциалов), тяготеющей к району Обской губы, возможно обнаружение

целого ряда скоплений УВ, положение которых автором статьи было закартировано на основе метода М.К. Хабберта [21] и отображено на рисунке 3.

Таким образом, ИГР в сочетании со структурными и литофациальными условиями территории способствует формированию и сохранению в период новейшей геологической истории не только антиклинальных залежей УВ, но и целого ряда гидродинамически экранированных скоплений УВ, которые могут служить резервным фондом поддержания уровня добычи газа на севере Западной Сибири.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абукова Л.А., Карцев А.А. Флюидные системы осадочных нефтегазоносных бассейнов (типы, основные процессы, пространственное распространение) // Отечественная геология. 1999. № 2. С. 11—16.
2. Боголепов А.К., Журавлев В.А., Шипилов Э.В., Юнов А.Ю. Новые данные о глубинной структуре Карского моря (по результатам геолого-геофизических исследований) // Доклады академии наук СССР. 1990. Т. 315. № 1. С. 159—162.
3. Гаттенбергер Ю.П., Дьяконов В.П. Гидрогеологические методы исследований при разведке и разработке нефтяных месторождений. М.: Недра. 1979. 207 с.
4. Голицын М.В., Вялов В.И., Пронина Н.В. Развитие науки об угле в СССР и России // Вестник Московского Университета. Сер. 4. Геология. 2015. № 4. С. 11—21.
5. Горева А.В. Формирование геофлюидодинамического режима Новопортовского месторождения // Георесурсы. Геополитика. Геоэнергетика. 2011. Вып. 2(4). URL: http://oilgasjournal.ru/vol_4/goreva.pdf
6. Горева А.В. Роль водонапорной системы в размещении залежей углеводородов в северных частях Западно-Сибирского бассейна // Фундаментальные и прикладные вопросы гидрогеологии нефтегазоносных бассейнов. Материалы III Всероссийской научной конференции (с международным участием), посвященной 90-летию А.А. Карцева. М.: GEOS, 2015. С. 47—50.
7. Гуревич А.Е. и др. Давление пластовых флюидов. М.: Недра, 1987. 225 с.
8. Дэвис С., де Уист Р. Гидрогеология / пер. с англ. М.: Мир, 1970.
9. Карцев А.А., Матусевич В.М., Яковлев Ю.И. Связь аномально-низких пластовых давлений с рифтогенными зонами Сибири // Геотектоника. 1989, № 2. С. 86—89.
10. Конторович В.А., Конторович А.Э. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности шельфа Карского моря // Доклады академии наук. 2019. Т. 489, № 3. С. 272—276.
11. Конторович А.Э., Нестеров И.И., Салманов Ф.К. и др. Геология нефти и газа Западной Сибири. М.: Недра. 1975. 680 с.
12. Кругликов Н.М., Нелюбин В.В., Яковлев О.Н. Гидрогеология Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна и особенности формирования залежей углеводородов. Л.: Недра. 1985. 279 с.
13. Матусевич В.М., Ковяткина Л.А. Нефтегазовая гидрогеология. В 2 ч. Ч. II. Нефтегазовая гидрогеология Западно-Сибирского мегабассейна: учебное пособие. Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. 108 с.
14. Никаноров А.М., Мирошников М.В. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений Центрального и Восточного Предкавказья. М.: Недра, 1972.
15. Скоробогатов В.А., Строганов Л.В., Копеев В.Д. Геологическое строение и газонефтеносность Ямала. М.: ООО Недра-Бизнесцентр, 2003. 352 с.
16. Скоробогатов В.А., Фомичев В.А. Геологическая модель и условия формирования Новопортовского газоконденсатного месторождения // Геологическое моделирование газовых месторождений. М.: ВНИИГАЗ, 1986. С. 23—31.
17. Ступакова А.В. Структура и нефтегазоносность Баренцево-Карского шельфа и прилегающих территорий // Геология нефти и газа. 2011. № 6. С. 99—115.
18. Сухарев Г.М. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. М.: Недра, 1971.
19. Шиганова О.В., Шевченко А.А. Подземные воды юга Западной Сибири как источник теплоэнергетических ресурсов // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2017. № 4(32). С. 104—109.
20. Юрин Г.А. Особенности водонапорной системы Сибирской платформы // Известия вузов. Сер. Геология и разведка. 1981. № 2. С. 34—41.
21. Hubbert M.K. Darcy's Law and the Field equations of flow of underground fluids. Trans. Amer. Inst. Min. Metal. Petrol. Engrs. 1956. No. 207. P. 222—239.
22. Toth J. Gravitational systems of groundwater flow. Theory, Evaluation, Utilization. USA by Cambridge University Press, New York. 2009. 297 p.

REFERENCES

1. Abukova L.A., Karcev A.A. Fljuidnye sistemy osadochnykh neftegazonosnykh bassejnov (tipy, osnovnye processy, prostranstvennoe rasprostranenie) // Otechestvennaja geologiya. 1999. № 2. P. 11—16 (In Russian).
2. Bogolepov A.K., Zhuravlev V.A., Shipilov Ye.V., Junov A.Yu. Novye dannye o glubinnoy strukture Karskogo morya (po rezul'tatam geologo-geofizicheskikh issledovaniy) // Doklady akademii nauk SSSR. 1990. T. 315. № 1. P. 159—162 (In Russian).

3. Gattenberger Yu.P., D'jakonov V.P. *Gidrogeologicheskie metody issledovaniy pri razvedke i razrabotke neftyanyh mestorozhdeniy*. Moscow: Nedra, 1979. 207 p. (In Russian).
4. Golitsyn M.V., Vyalov V.I., Pronina N.V. *Razvitie nauki ob ugle v SSSR i Rossii // Vestnik Moskovskogo Universiteta. Ser. 4. Geologiya*. 2015. № 4. P. 11—21 (In Russian).
5. Goreva A.V. *Formirovanie geofluidodinamicheskogo rezhima Novoportovskogo mestorozhdeniya // Georesursy. Geopolitika. Geojenergetika*. 2011. Vol. 2(4). http://oilgasjournal.ru/vol_4/goreva.pdf (In Russian).
6. Goreva A.V. *Rol' vodonapornoj sistemy v razmeshenii zalezhey uglevodorodov v severnyh chastyakh Zapadno-Sibirskogo basseyna // Fundamental'nye i prikladnye voprosy gidrogeologii neftegazonosnyh bassejnov. Materialy III Vserossiyskoj nauchnoj konferencii (s mezhdunarodnym uchastiem), posvjashhennoy 90-letiyu A.A. Karceva*. Moscow: GEOS, 2015. P. 47—50 (In Russian).
7. Gurevich A.E. et al. *Davlenie plastovyh flyuidov*. Moscow: Nedra, 1987. 225 p. (In Russian).
8. Djevis S., de Uist R. *Gidrogeologiya (per. s angl.)*. Moscow: Mir, 1970 (In Russian).
9. Karcev A.A., Matushevich V.M., Yakovlev Yu.I. *Svjaz' anomal'no-nizkih plastovyh davleniy s riftogennymi zonami Sibiri // Geotektonika*. 1989. № 2. P. 86—89 (In Russian).
10. Kontorovich V.A., Kontorovich A.Ye. *Geologicheskoe stroenie i perspektivy neftegazonosnosti shel'fa Karskogo morya // Doklady akademii nauk*. 2019. T. 489, № 3. P. 272—276 (In Russian).
11. Kontorovich A.Ye., Nesterov I.I., Salmanov F.K. et al. *Geologiya nefti i gaza Zapadnoy Sibiri*. Moscow: Nedra, 1975. 680 p. (In Russian).
12. Kruglikov N.M., Neljubin V.V., Yakovlev O.N. *Gidrogeologiya Zapadno-Sibirskogo neftegazonosnogo megabassejna i osobennosti formirovaniya zalezhey uglevodorodov*. Leningrad: Nedra, 1985. 279 p. (In Russian).
13. Matushevich V.M., Kovyatkina L.A. *Neftegazovaya gidrogeologiya. V 2 ch. Ch. II. Neftegazovaya gidrogeologiya Zapadno-Sibirskogo megabassejna: uchebnoe posobie*. Tjumen': Tjumen'GNGU, 2010. 108 p. (In Russian).
14. Nikanorov A.M., Miroshnikov M.V. *Gidrogeologiya neftyanyh i gazovyh mestorozhdeniy Central'nogo i Vostochnogo Predkavkaz'ya*. Moscow: Nedra, 1972 (In Russian).
15. Skorobogatov B.A., Stroganov L.B., Kopeev V.D. *Geologicheskoe stroenie i gazoneftenosnost' Yamala*. Moscow: Nedra-Biznescentr, 2003. 352 p. (In Russian).
16. Skorobogatov V.A., Fomichev V.A. *Geologicheskaya model' i usloviya formirovaniya Novoportovskogo gazokondensatnogo mestorozhdeniya // Geologicheskoe modelirovanie gazovyh mestorozhdeniy*. Moscow: VNIIGAZ, 1986. P. 23—31 (In Russian).
17. Stupakova A.V. *Struktura i neftegazonosnost' Barencevo-Karskogo shel'fa i priliegajushhih territoriy // Geologiya nefti i gaza*. 2011. № 6. P. 99—115 (In Russian).
18. Suharev G.M. *Gidrogeologiya neftjanyh i gazovyh mestorozhdeniy*. Moscow: Nedra, 1971 (In Russian).
19. Shiganova O.V., Shevchenko A.A. *Podzemnye vody yuga Zapadnoy Sibiri kak istochnik teplojenergeticheskikh resursov // Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri*. 2017. № 4(32). P. 104—109 (In Russian).
20. Jurin G.A. *Osobennosti vodonapornoj sistemy Sibirskoy platformy // Izvestiya VUZov. Ser. Geologiya i razvedka*. 1981. № 2. P. 34—41 (In Russian).
21. Hubbert M.K. *Darcy's Law and the Field equations of flow of underground fluids*. Trans. Amer. Inst. Min. Metal. Petrol. Engrs. (1956): 207: 222—239.
22. Toth J. *Gravitational systems of groundwater flow. Theory, Evaluation, Utilization*. USA by Cambridge University Press, New York. 2009. 297 p.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Горева А.В. — разработала концепцию статьи, подготовила текст, выполнила анализ гидродинамических потенциалов изучаемого района, выполнила перевод на английский язык и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Alexandra V. Goreva — built up a concept of the article, prepared the text, executed an analysis of hydrodynamic potentials of the study area, completed a translation into English and agrees to assume responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT AUTHOR

Горева Александра Вадимовна — младший научный сотрудник Лаборатории ресурсной базы нефтегазового комплекса ФГБУН «Институт проблем нефти и газа РАН»
3, ул. Губкина, г. Москва, 119333, Россия
E-mail: sandra_ne@mail.ru
SPIN-код: 5847-3696
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6866-4984>

Aleksandra V. Goreva — junior research scientist, Oil and Gas Research Institute of Russian Academy of Science
3, Gubkina str., Moscow 119333, Russia
E-mail: sandra_ne@mail.ru
SPIN-code: 5847-3696
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6866-4984>



УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ЭВОЛЮЦИЯ НЕФТЕГАЗОМАТЕРИНСКИХ ТОЛЩ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ ПОТЕНЦИАЛЬНО НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Р.А. МАМЕДОВ^{1,*}, М.А. АЛЛАНАЗАРОВА¹, Р.Р. САГДЕЕВ², Т.Н. СУЮНБАЕВ¹

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

² ФГАОУ ВО «Российский государственный университет имени И. М. Губкина»
65, Ленинский пр., г. Москва 119296, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Шельф Восточно-Сибирского моря относится к Новосибирско-Чукотской потенциально нефтегазоносной провинции. Основанием для определения Восточно-Сибирского шельфа в качестве потенциально нефтегазоносной провинции и его разделения на области стало, наряду со структурно-геологическими предпосылками, выявление на Новосибирских островах многочисленных битумопроявлений в палеозойских, триасовых и юрских отложениях.

Цель исследования. Целью являлось построение пространственно-временных цифровых моделей осадочных бассейнов и углеводородных (УВ) систем для основных горизонтов нефтематеринских пород, а также детальный анализ информации о нефтегазоносности, геохимическом изучении осадков, характеристики компонентного состава и эволюции нефтегазоматеринских толщ в пределах изучаемой перспективной нефтегазоносной провинции. Проведенные исследования позволили изучить региональные тренды нефтегазоносности, особенности формирования осадочного чехла и развития углеводородных систем изучаемого района.

Материалы и выводы. Источником информации являются материалы производственных отчетов, полученных по отдельным крупным объектам в районе акватории. В качестве основы для бассейнового анализа использована модель, разработанная специалистами Equinor (Somme et al., 2018) [8, 9], которая охватывает временной период с триаса по палеоген включительно и учитывает плито-тектонические реконструкции, выполненные Dog'е и соавт. в 2015 г. Построенная модель включает четыре основных осадочных комплекса: доаптский, апт-верхнемеловой, палеогеновый, неоген-четвертичный.

Результаты. Расчет численных моделей выполнен в двух вариантах с разными типами керогена нефтегазоматеринских толщ (НГМТ), соответствующими гумусовому и сапропелевому органическому веществу (ОВ). Результаты проведенных исследований показали, что ключевым фактором, контролирующим развитие углеводородных систем, является скорость погружения бассейнов и мощность формируемых комплексов перекрывающих пород.

Заключение. Анализ полученных результатов позволил выделить наиболее перспективные объекты исследования. Выделены основные очаги генерации УВ апт-позднемелового и палеогенового комплексов и области наиболее вероятной аккумуляции. Значительный углеводородный потенциал ожидается в клиноформах палеогена Восточной Арктики. В настоящее время этот комплекс недооценен, и для проведения ресурсной оценки требуется дополнительное изучение, включая детальное картирование его внутреннего строения.

Ключевые слова: бассейновое моделирование, Новосибирский бассейн, нефтегазоматеринские толщи, кероген, зрелость органического вещества, скопление углеводородов, геохимия

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-70062.

Для цитирования: Мамедов Р.А., Алланазарова М.А., Сагдеев Р.Р., Суюнбаев Т.Н. Условия формирования и эволюция нефтегазоматеринских толщ Восточно-Сибирской потенциально нефтегазоносной провинции. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(1):38—49. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-38-49>

Статья поступила в редакцию 04.10.2021

Принята к публикации 24.12.2021

Опубликована 22.06.2022

* Автор, ответственный за переписку

FORMATION CONDITIONS AND EVOLUTION OF THE OIL AND GAS STRATA OF THE PROSPECTIVE EAST SIBERIAN OIL AND GAS PROVINCE

RUSTAM A. MAMEDOV^{1,*}, MEHRIBAN A. ALLANAZAROVA¹, RAIL R. SAGDEEV²,
TEMIRBOLAT N. SUYUNBAEV¹

¹ *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

² *Gubkin Russian State University
65, Leninsky pr., Moscow 119296, Russia*

ABSTRACT

Introduction. East Siberian Sea shelf refers to the Novosibirsk-Chukotka prospective oil and gas province. The definition of the East Siberian shelf as a prospective oil and gas province and its division into areas is based, along with the structural and geological prerequisites, on the identification of numerous bitumen occurrences in the Paleozoic, Triassic and Jurassic sediments of the Novosibirsk Islands.

Aim. To construct spatio-temporal digital models of sedimentary basins and hydrocarbon systems for the main horizons of source rocks, as well as to carry out their detailed analysis based on the available information about the oil and gas content, the gas-chemical composition of sediments, the characteristics of the component composition and evolution of source rocks within the studied prospective oil and gas province. The conducted research made it possible to study regional trends in oil and gas content, features of the sedimentary cover formation and the development of hydrocarbon systems in the area under study.

Materials and methods. The materials of production reports obtained for individual large objects in the water area were the source of information. A basin analysis was based on a model developed by the Equinor specialists (Somme et al., 2018) [8, 9], which covered the time period from the Triassic to Paleogene inclusive and took into account the plate-tectonic reconstructions performed by Dor'e et al. in 2015. The resulting model included four main sedimentary complexes: pre-Aptian, Apt-Upper Cretaceous, Paleogene, and Neogene-Quaternary.

Results. The calculation of numerical models was carried out in two versions with different types of kerogen of oil and gas source strata corresponding to humic and sapropel organic matter. The key factor in controlling the development of hydrocarbon systems was found to be the sinking rate of the basins and the thickness of the formed overburden complexes.

Conclusion. The conducted analysis allowed the most promising research objects to be identified. The main foci of hydrocarbon generation in the Aptian-Late Cretaceous and Paleogene complexes were identified, along with the area of their most probable accumulation. Significant hydrocarbon potential is expected in the Paleogene clinoforms of the Eastern Arctic. This complex is currently underestimated, thus requiring further resource assessment study. A detailed mapping of its interior structure should be carried out.

Keywords: basin modeling, Novosibirsk basin, oil and gas strata, kerogen, organic matter maturity, hydrocarbon accumulation, geochemistry

Conflict of interest: the authors declare that there is no conflict of interest.

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

Funding: the research was carried out with the financial support of the RFBR in the framework of research project No. 20-35-70062.

For citation: Mamedov R.A., Allanazarova M.A., Sagdeev R.R., Suyunbaev T.N. Formation conditions and evolution of the oil and gas strata of the prospective East Siberian oil and gas province. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(1):38—49. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-38-49>

Manuscript received 04 October 2021

Accepted 24 December 2021

Published 22 June 2022

* Corresponding author

Шельфовая область Восточно-Сибирского моря принадлежит Новосибирско-Чукотской (она же Новосибирская или Восточно-Сибирская) потенциально нефтегазоносной провинции, очертания которой однозначно не установлены (рис. 1). Существует вариант ее продолжения в северную область Чукотского моря вплоть до северного склона Аляски и вариант ее ограничения на востоке посредством поперечной структуры, связанной с зоной сопряжения Медвежинско-Шелагской зоны поднятий и Дремхедским прогибом. Каждый из вариантов, очевидно, может рассматриваться в качестве рабочей гипотезы. В данном обзоре принят последний вариант как наиболее соответствующий природному делению Восточно-Арктического шельфа на отдельные моря

как по внешним географическим и геоморфологическим признакам, так и по структуре подошвы осадочного чехла в той мере, в которой она на сегодня изучена [8, 9].

В принятых очертаниях в составе провинции может быть выделено до пяти потенциально нефтегазоносных областей: Усть-Индиго-Ирская, Медвежинско-Шелагская, Новосибирско-Благовещенская, Восточно-Сибирская и Де Лонга. Среди них наибольшими мощностями разреза от 2,0 до 12,0 км и более и, возможно, его наибольшим стратиграфическим интервалом, а также ожидаемой перспективностью выделяются две последних области.

В карбонатно-терригенных отложениях кембрия-силура отмечены находки «метаморфокеритов» — органического вещества, потерявшего

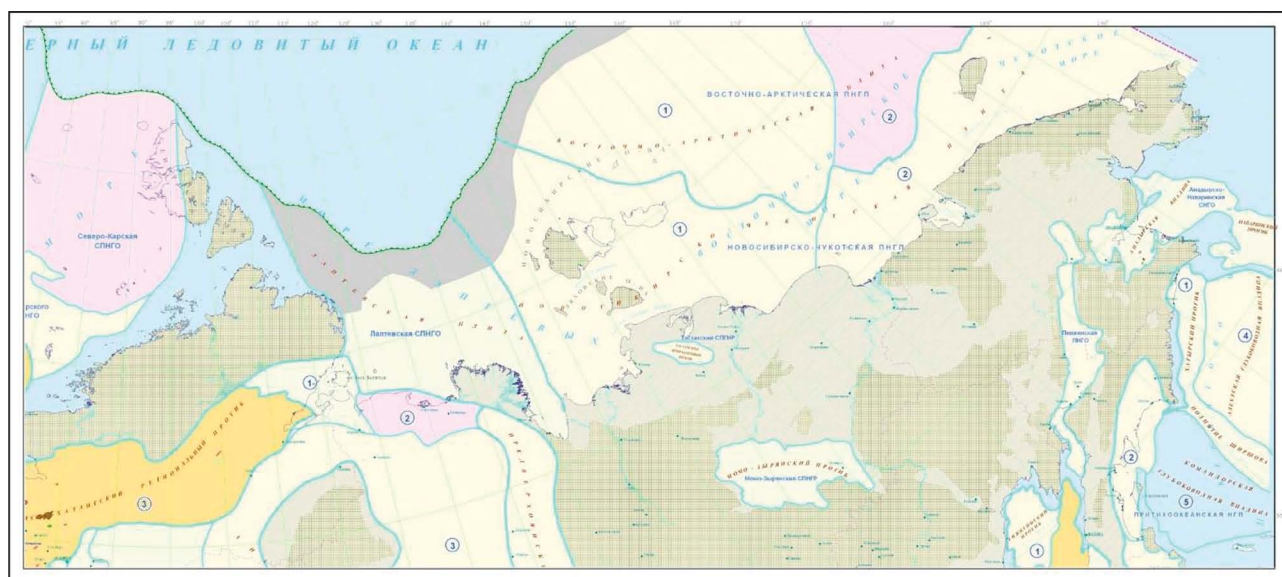


Рис. 1. Карта нефтегазаносности Восточно-Сибирской потенциально нефтегазоносной провинции (выкопировка из карты нефтегазаносности РФ и сопредельных стран СНГ [5])

Fig. 1. Map of oil and gas potential of the East Siberian potentially oil and gas province (extracted from the map of oil and gas potential of the Russian Federation and neighboring CIS countries [5])

подвижность и способность к растворению в органических растворителях.

В карбонатных породах девонского возраста зафиксированы признаки миграции УВ в виде локальных скоплений битумов по трещинам и остаткам раковин. Высокое содержание ОВ и битумов отмечаются также на некоторых участках развития каменноугольных и пермских пород в терригенных отложениях юры и мела.

Кроме того, в мелких картировочных скважинах, вскрывших отложения от юры до антропогена, на Земле Бунге (о-в Котельный), на островах Фаддеевском и Новая Сибирь, а также в проливах Санникова и Дм. Лаптева обнаружены проявления газа [13], содержащие метан и его тяжелые гомологи.

Выделение нефтегазоносных комплексов в этой провинции, как считает подавляющее большинство исследователей, пока преждевременно, поэтому в качестве потенциально нефтегазоносных выделяют комплексы, отвечающие крупным стратиграфическим подразделениям: палеозою, мезозою и кайнозою. При этом на севере провинции, в зонах развития древнего фундамента, предполагается развитие с разной полнотой всех трех комплексов, а на юге — только верхов мезозойского и кайнозойского комплекса.

В палеозойской части разреза в качестве возможных нефтегенерирующих толщ рассматриваются, по аналогии с Новосибирскими островами, битуминозные отложения нижнего-среднего девона. Породы верхнего девона имеют низкое содержание ОВ, но в связи с преобладанием глинистой составляющей рассматриваются как потенциальные флюидоупоры.

В качестве нефтематеринских толщ, по результатам исследований на островах и экстраполяции этих результатов на акваторию [9], рассматриваются, в частности, терригенно-карбонатные отложения карбона, где содержание $C_{орг.}$ составляет 1,0—3,9 % и преобладает преимущественно сапропелевый тип ОВ.

Генерационный потенциал отложений перми связан с ОВ гумусового состава ($C_{орг.}$ 1,3—3,7 %), что при низкой битуминозности позволяет относить эти отложения к газоматеринским.

Триасовые отложения, по данным указанных исследований, могут рассматриваться как основные нефтегазоматеринские толщи Восточно-Сибирского моря. Они характеризуются высоким содержанием $C_{орг.}$ — до 10 %, морским генезисом, большой мощностью отложений и смешанным составом ОВ. Глинистые отложения триаса

выступают также в качестве хороших флюидоупоров [1—4].

Геохимические данные по юрским отложениям отсутствуют, однако по аналогии с прилегающим регионом Чукотского моря предполагается, что они также могут принимать участие в формировании УВ потенциала акватории [8, 13].

Угленосная толща мела с содержанием $C_{орг.}$ до 20% и ОВ гумусового типа выступает в качестве газогенерирующей толщи.

При оценке нефтегазоносности и ресурсов Восточно-Сибирского моря в качестве аналога все исследователи рассматривают провинции бассейнов Северного склона Аляски и моря Бофорта [6—8], имеющих заметное сходство в истории геологического развития. Мегабассейн Северного склона Аляски охватывает синнадвиговый бассейн Колвилл с мощной мел-кайнозойской молассой и расположенный на шельфе Чукотского моря трог Хана с элсмирским и рифтовым комплексом (верхний девон-баррем) и Чукотскую платформу с нижнебрухскими (апт-верхний мел) отложениями.

В нефтегазоносной провинции Северного склона Аляски, включая прилегающую акваторию Чукотского и Бофорта морей, с 1946 по 2001 г. открыто 65 месторождений УВ [7]. Анализ информации показывает, что месторождения, открытые на Северной Аляске, находятся в различных возрастных нефтегазоносных комплексах: от среднепалеозойских (миссисипская свита каменноугольных отложений) до кайнозойских отложений. На рисунке 2 показаны нефтегазоносные формации, принятые американскими специалистами по Северной Аляске.

Методика исследований

Для оценки углеводородного потенциала изучаемых акваторий в рамках настоящей работы выполнено численное бассейновое моделирование. С учетом существенных неопределенностей в части вещественного состава пород в модели были выделены гипотетические углеводородные системы в основании каждого комплекса. Расчет выполнен в двух вариантах с разными типами керогена НГМТ, соответствующими гумусовому и сапропелевому ОВ [9—12].

Результаты исследований

Результаты проведенных исследований показали, что ключевым фактором, контролирующим развитие углеводородных систем, является скорость погружения бассейнов и мощность формируемых комплексов перекрывающих пород.

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

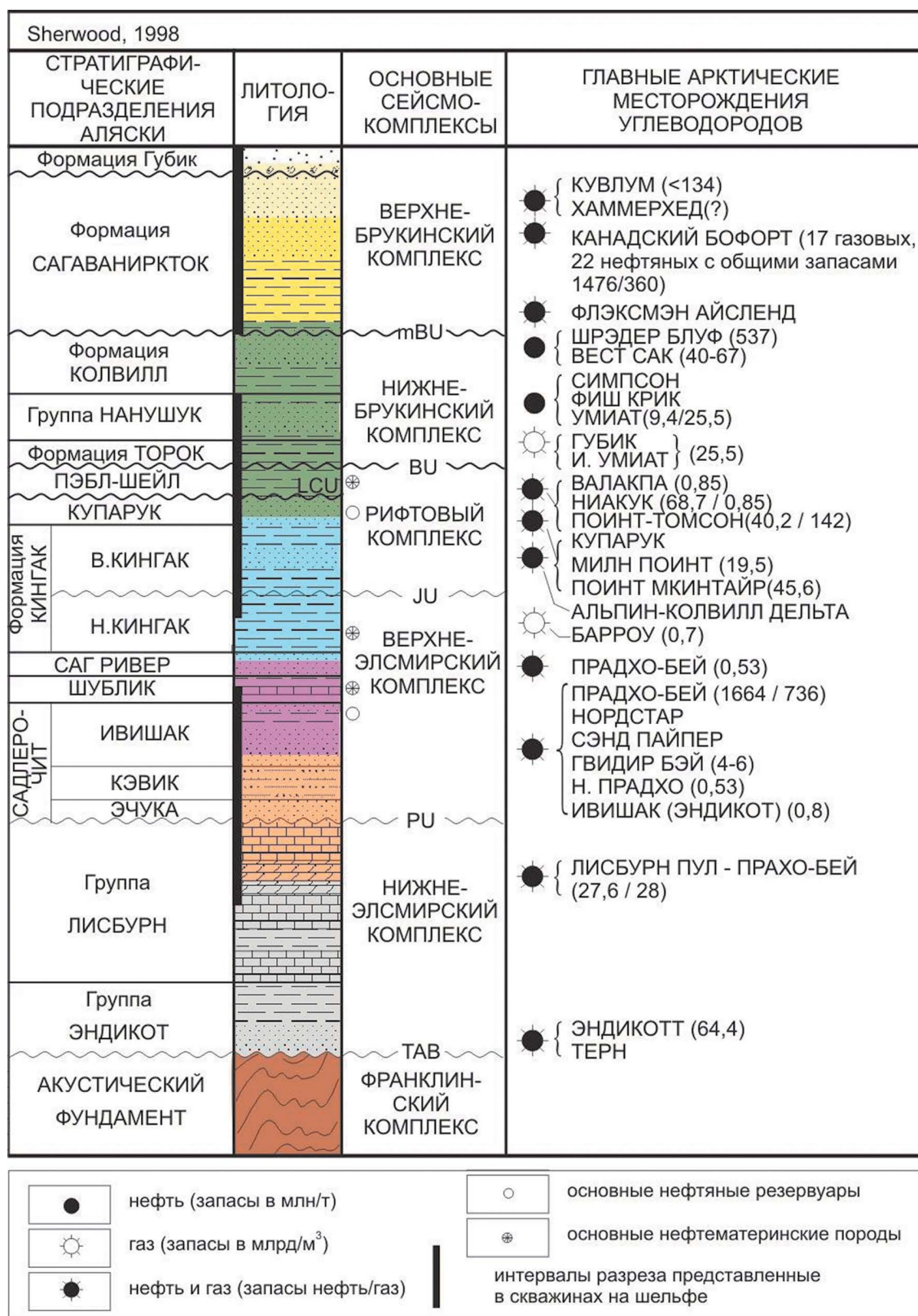


Рис. 2. Обобщенная стратиграфическая схема бассейнов Северной Аляски и шельфа Чукотского моря [10]
Fig. 2. Generalized stratigraphic scheme of the basins of Northern Alaska and the shelf of the Chukchi Sea [10]

Анализ палеогеографических условий формирования отложений позволяет предполагать присутствие элементов углеводородных систем в составе основных комплексов осадочного чехла.

В связи с изложенным в модели были выделены гипотетические углеводородные системы в основании каждого комплекса. Расчет выполнен в двух вариантах с разными типами керогена НГМТ, соответствующими гумусовому и сапропелевому ОВ.

Результаты выполненного моделирования показали, что в настоящее время в прибортовых частях прогиба возможна генерация газа, и только апт-верхнемеловые осадочные толщи Новосибирского и Северо-Врангелевского прогибов находятся в главной зоне нефтегенерации.

Апт-верхнемеловые отложения всех изучаемых бассейнов могли генерировать углеводороды

уже к началу палеогена: газ — в нижней, нефть — в средней части разреза (рис. 3А).

Палеогеновые породы в настоящее время во всех бассейнах способны генерировать как жидкие, так и газообразные УВ. Зрелость ОВ палеогена Новосибирского бассейна соответствует главной зоне нефтеобразования (рис. 3Б).

На рисунке 4 приведены карты распределения степени преобразованности меловой НГМТ для керогена второго типа (рис. 4А) и третьего типа (рис. 4В).

Видно, что к настоящему времени НГМТ полностью реализовала свой потенциал на большей части территории всех бассейнов вне зависимости от типа керогена. Незначительные отличия отмечаются в бортовых частях прогибов, где НГМТ с керогеном III типа слабее трансформирована.

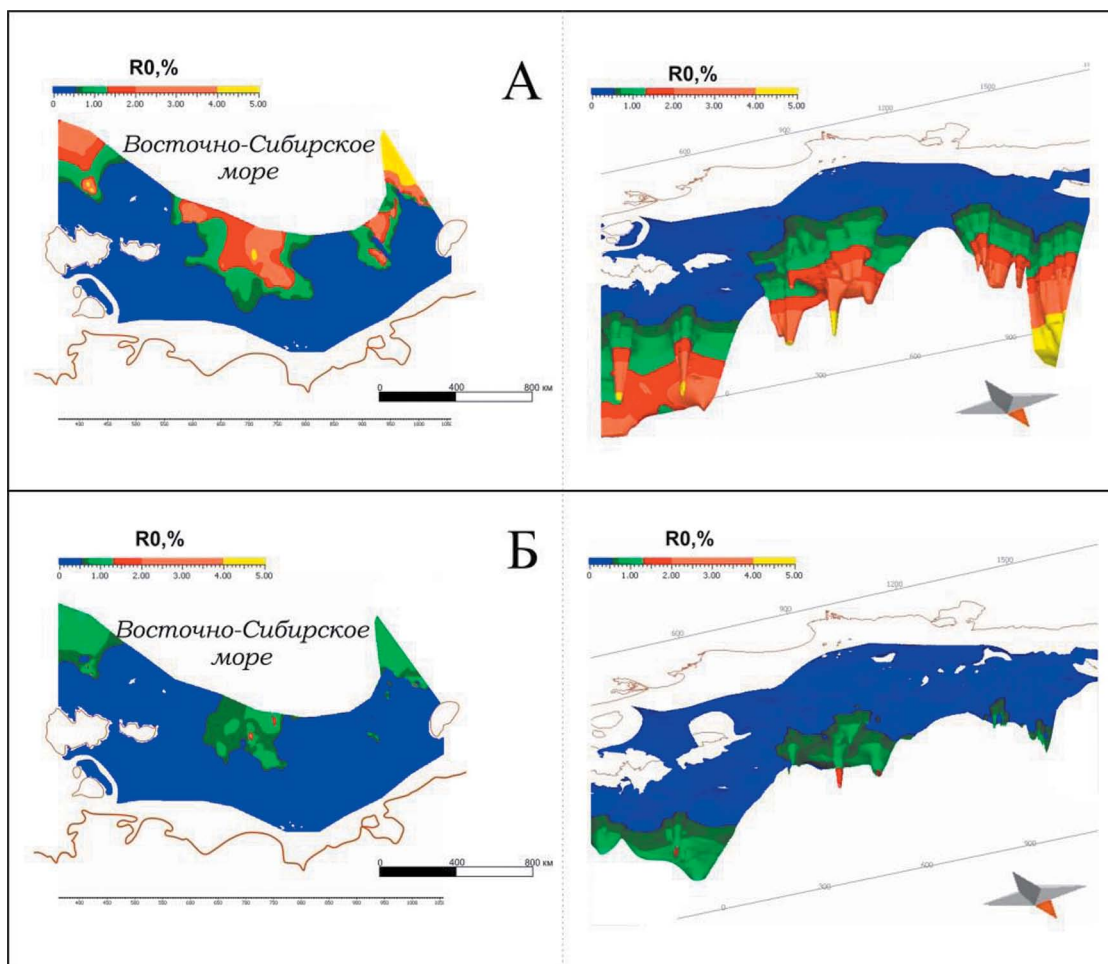


Рис. 3. Распределение отражательной способности витринита (R_0 , %) на современном этапе развития НГМТ: А — апт-познемелового, Б — палеогенового

Fig. 3. Distribution of vitrinite reflectance (R_0 , %) at the present stage of development of OGMT: А— Aptian-Late Cretaceous, Б — Paleogene

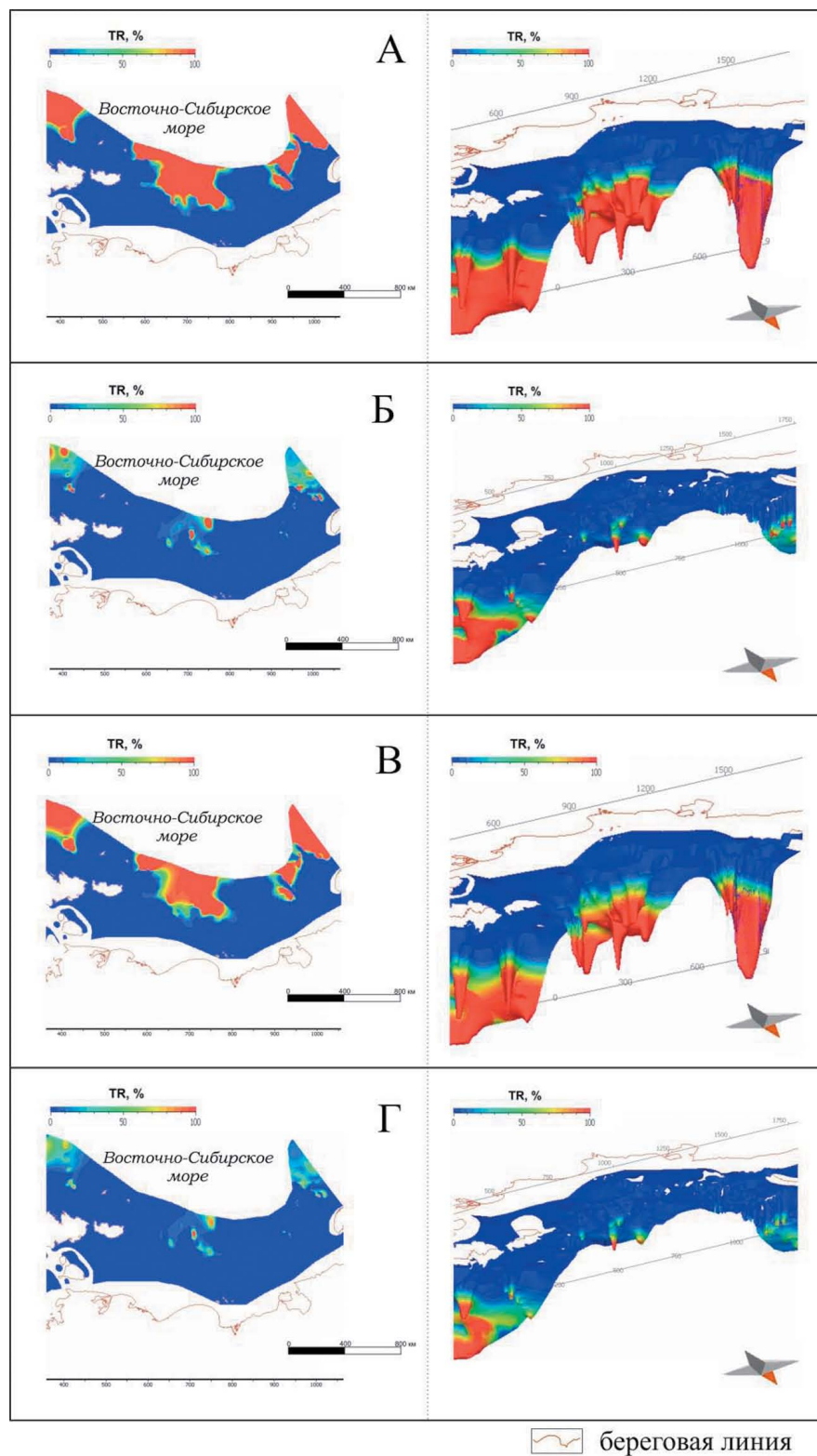


Рис. 4. Распределение степени преобразованности ОВ (TR, %) на современном этапе развития НГМТ для керогена II типа: А — мелового, Б — палеогенового; для керогена III типа: В — мелового, Г — палеогенового
Fig. 4. Distribution of the degree of OM transformation (TR, %) at the present stage of development of OGMT for kerogen type II: A — Cretaceous, Б — Paleogene; for type III kerogen: В — Cretaceous, Г — Paleogene

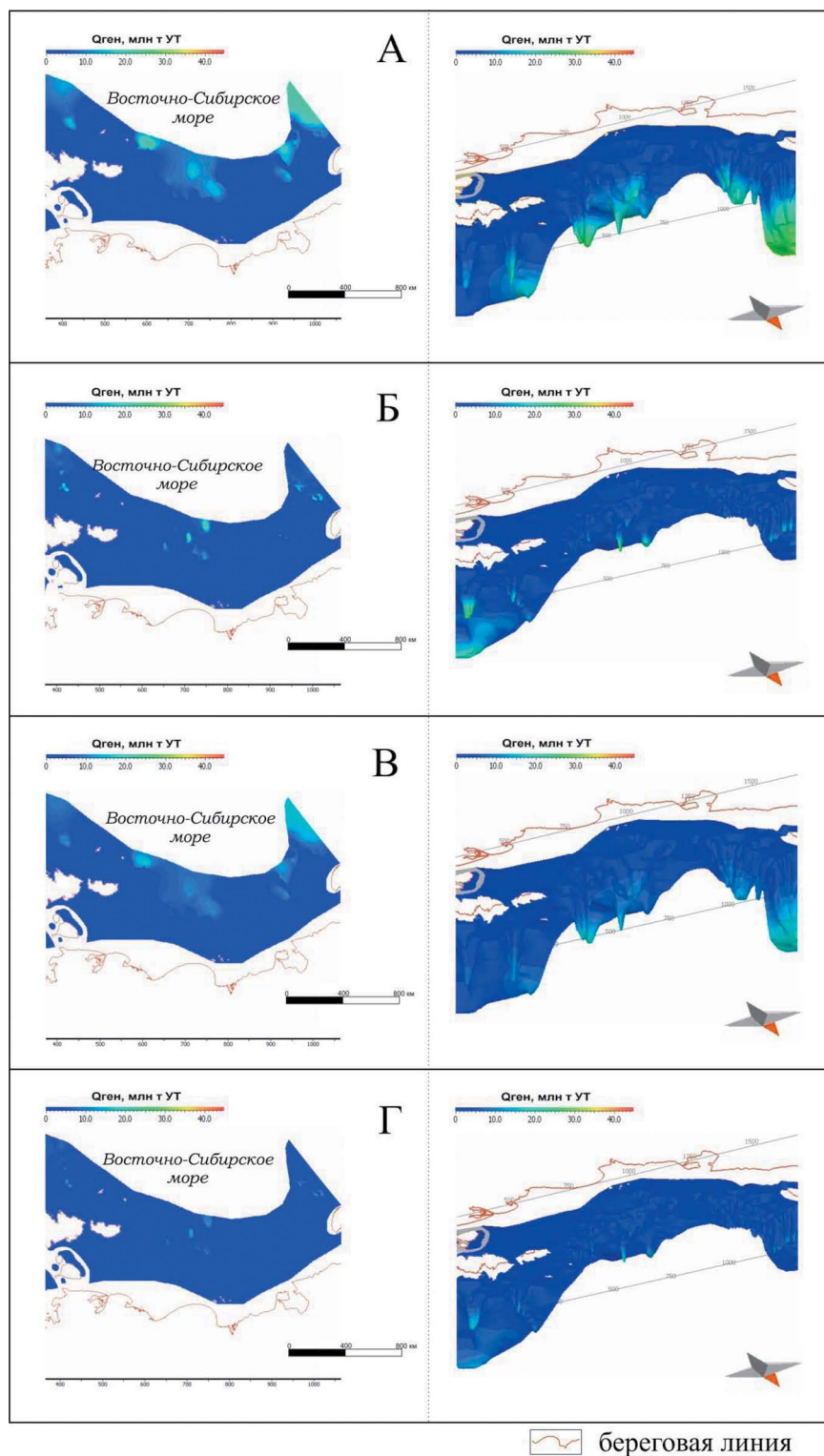


Рис. 5. Распределение удельной плотности генерации УВ ($Q_{ген}$, млн т УТ/км²) на современном этапе развития НГМТ для керогена II типа: А — мелового, В — палеогенового; для керогена III типа: Б — мелового, Г — палеогенового

Fig. 5. Distribution of the specific density of hydrocarbon generation (Q_{gen} , mln. t CC/km²) at the present stage of development of OGMT for type II kerogen: А — Cretaceous, Б — Paleogene; for type III kerogen: Б — Cretaceous, Г — Paleogene

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

Для нефтегазоматеринских пород палеогена влияние типа керогена на степень преобразованности НГМТ значительно, и оно тем больше, чем меньше глубина их залегания и, соответственно, зрелость ОВ (рис. 4Б, Г). В целом чем меньше зрелость ОВ, тем меньше реализован генерационный потенциал НГМТ, содержащей III тип керогена.

Следует отметить, что распределение показателя TR в пределах области моделирования отражает различия в тектонической эволюции изучаемых осадочных бассейнов и, в частности, скоростей их погружения.

В соответствии с индексом TR моделируемых НГМТ распределены удельные плотности генерации и эмиграции УВ (рис. 5). Наиболее высокие плотности генерации и эмиграции УВ в меловом комплексе прогнозируются в пределах Новосибирского прогиба. Для НГМТ, содержащей II тип керогена, эти показатели составляют порядка

20—30 млн т УТ (рис. 5А) и 10—15 млн т УТ — для III типа (рис. 5В). В палеогеновом комплексе максимальные удельные плотности генерации и эмиграции (на уровне 25—40 и 15—25 млн т УТ для второго и третьего типов керогена соответственно) (рис. 5Б и Г).

Динамика реализации генерационного и эмиграционного потенциала изученных НГМТ представлена на рисунках 6 и 7. Быстрое погружение и высокие скорости осадконакопления осадочных бассейнов во второй половине мела и палеогене привели к тому, что процессы генерации и эмиграции УВ начались практически сразу после формирования НГМТ. На рубеже мела и палеогена эти процессы в апт-верхнемеловой толще существенно активизируются, а к началу олигоцена замедляются. Для палеогеновой НГМТ отмечается последовательное нарастание генерационно-эмиграционного потенциала. Генерация и эмиграция углеводородов из неогеновой

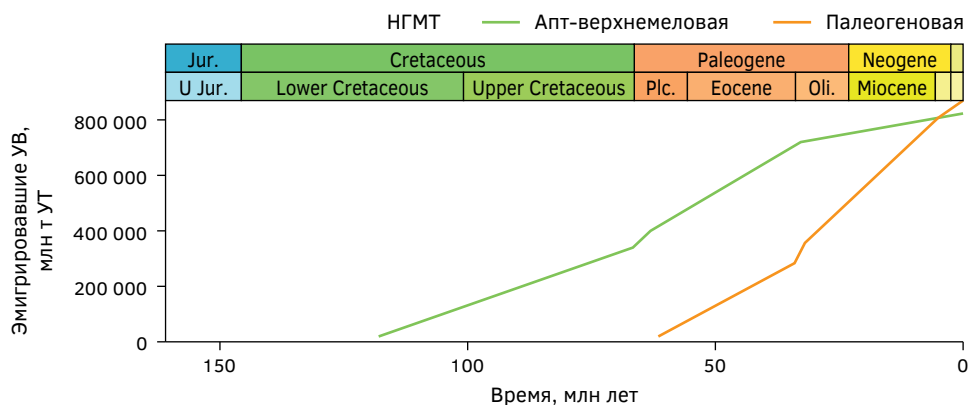


Рис. 6. График генерации УВ НГМТ в Новосибирском бассейне. Кероген II типа
Fig. 6. Graph of hydrocarbon generation at NGMT in the Novosibirsk basin. Type II kerogen

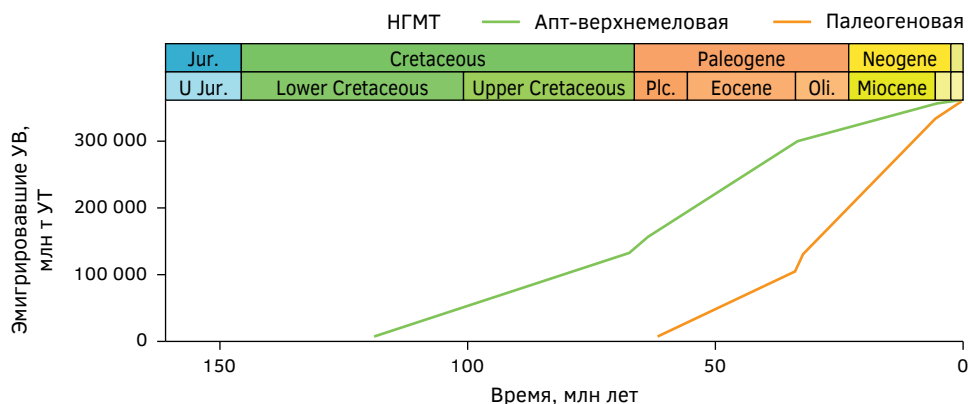


Рис. 7. График генерации УВ НГМТ в Новосибирском бассейне. Кероген III типа
Fig. 7. Graph of generation of hydrocarbons from NGMT in the Novosibirsk basin. Type III kerogen

нефтегазоматеринской толщи началась в конце миоцена.

В модели с III типом керогена наблюдается аналогичная динамика при существенно меньших объемах сгенерированных и эмигрировавших УВ.

Заключение

В Новосибирском бассейне основные очаги генерации УВ находятся в апт-верхнемеловом и палеогеновом комплексах. Области наиболее вероятной аккумуляции углеводородов сохраняются вне зависимости от типа органического вещества. Результаты моделирования отличаются в части соотношения жидких и газообразных УВ в прогнозируемых залежах, в случае III типа керогена количество газовой составляющей увеличивается.

Наиболее вероятные области аккумуляции УВ в резервуарах апт-верхнемелового комплекса Новосибирского бассейна располагаются преимущественно в их прибортовых частях на глубинах около 5 км.

В палеогеновом комплексе скопления углеводородов прогнозируются преимущественно в центральных частях изученных бассейнов и в меньшей степени — в прибортовых. Глубины залегания перспективных объектов от 5—6 км в центральных частях до 2—3 — в прибортовых. Значительный углеводородный потенциал ожидается в клиноформах палеогена Восточной Арктики. В настоящее время этот комплекс недооценен, и для проведения ресурсной оценки требуется дополнительное изучение, включая детальное картирование его внутреннего строения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (Новая серия). Лист S-1,2 (Чукотское море). Объяснительная записка. — СПб., изд-во картфабрики ВСЕГЕИ, 2005.
2. Бискэ С.Ф., Якушев И.Р. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1:1 000 000. Лист R-56, 57. Нижнеколымск. — М.: ГУГК, 1962.
3. Григоренко Ю.Н., Мирчинк И.М., Савченко В.И., Сенин Б.В., Супруненко О.И. Углеводородный потенциал континентального шельфа России: состояние и проблемы освоения // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. Спецвыпуск. Минеральные ресурсы российского шельфа. М., 2006. С. 14.
4. Ким Б.И. Выполнить нефтегеологическое районирование континентального шельфа Восточно-Арктических морей Российской Федерации, сравнительный анализ нефтегазоносности недр указанных акваторий с целью выделения высокоперспективных зон нефтегазонакопления и обоснования выбора объектов геолого-геофизических работ на ближайшую и среднесрочную перспективу. Санкт-Петербург-2005. Фонды Моргеолофонда (ф).
5. Косько М. К., Соболев Н.Н., Кораго Е.А., Проскурнин В.Ф., Столбов Н.М. Геология Новосибирских островов — основа интерпретации геофизических данных по восточно-арктическому шельфу России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2013. Т. 8, № 2. 36 с.
6. Косько М.К., Ким Б.И., Кораго Е.А., Пискарев-Васильев А.Л., Супруненко О.И., Лазуркин Д.В. Восточно-Сибирско-Чукотский седиментационный бассейн // В кн.: Геология и полезные ископаемые России. Т. 5, кн. 1. Арктические моря. СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. С. 341—382.
7. Магун Л.Б., Лиллис П.Г., Берд К.Дж., Лампе К., Питерс К.Е. 2003. Нефтяные системы Северного склона Аляски. Геологическая служба США, Рестон, Вирджиния, Open-File Report 03-324
8. Сенин Б.В., Леончик М.И. Стратегические направления развития минерально-сырьевой базы углеводородов нераспределенного фонда недр морских акваторий // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2016. № 6. С. 3—14.
9. Сенин Б.В., Шипилов Э.В., Юнов А.Ю. Тектоника арктической зоны перехода от континента к океану. Мурманск: кн. изд-во, 1989. 176 с.
10. Тектоническая карта фундамента территории СССР. М. 1:5 000 000 / Гл. ред. Д.В. Наливкин. М.: АН СССР, МГ СССР, 1974.
11. Тектоническая карта Циркумполярной Арктики. М. 1:5 000 000 / Под ред. О.В. Петрова и А.Ф. Морозова. СПб.: ВСЕГЕИ, 2014.
12. Хаин В.Е., Филатова Н.И., Полякова И.Д. (ред.). Тектоника, геодинамика и перспективы нефтегазоносности Восточно-Арктических морей и их континентальное обрамление // Труды Геологического института. Вып. 601. 2009. 227 с.
13. Яшин Д.С., Ким Б.И. Геохимические признаки нефтегазоносности Восточно-Арктического шельфа России // Геология нефти и газа. 2007. № 4. С. 25—29.

REFERENCES

1. State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (new series). Sheet S-1,2 (Chukchi Sea). Explanatory note. — St. Petersburg, publishing house of the VSEGEI map factory, 2005.
2. Biske S. F. and Yakushev I. R., State Geological Map of the USSR. Scale 1:1 000 000. Sheet R-56, 57. Nizhnekolymsk. — M.: GUGK, 1962. p.11.
3. Grigorenko Yu.N., Mirchink I.M., Savchenko V.I., Senin B.V., Suprunenko O.I. Hydrocarbon potential of the continental shelf of Russia: state and problems of development. Mineral resources of Russia. Economics and management. Special issue 2006 // Mineral resources of the Russian shelf. Moscow, 2006. P. 14.
4. Kim B.I. To Carry petroleum-geological zoning of the continental shelf of the East Arctic seas of the Russian Federation, a comparative analysis of oil and gas mineral resources of these areas to identify a highly promising zones of oil and selection of objects geophysical works in the short to medium term. Saint-Petersburg-2005. Funds Margaritondo (f).
5. Kosko M.K., Sobolev N.N., Korago E.A., Proskurnin V.F., Stolbov N.M. Geology of the Novosibirsk Islands—the basis for interpretation of geophysical data on the Eastern Arctic shelf of Russia // Neftgazovaya Geologiya. Theory and practice. 2013. Vol. 8, no. 2. P.36.
6. Kosko M.K., Kim B.I., Korago E.A., Piskarev-Vasiliev A.L., Suprunenko O.I., Lazurkin D.V. East Siberian-Chukchi sedimentation basin // In: Geology and mineral resources of Russia, Vol. 5, book 1. Arctic seas, St. Petersburg: VSEGEI, 2004. P. 341—382.
7. Magoon L.B., Lillis P.G., Bird K.J., Lampe C., Peters, K.E. 2003. Alaskan North Slope Petroleum Systems. US Geological Survey, Reston, VA, Open-File Report03-324.
8. Senin B.V., Leonchik M.I. Strategic directions for the development of the mineral resource base of hydrocarbons of the undistributed subsoil Fund of marine areas // Mineral resources of Russia. Economics and management. 2016. No. 6. P. 3—14.
9. Senin B.V., Shipilov E.V., Yunov A.Yu. Tectonics of the Arctic zone of transition from the continent to the ocean. Murmansk: publishing house, 1989. 176 p.
10. Tectonic map of the basement of the USSR. M. 1:5 000 000 / ed. by D.V. Nalivkin. Moscow: USSR Academy of Sciences, MG of the USSR, 1974.
11. Tectonic map of the Circumpolar Arctic. M. 1:5 000 000 / ed. by O.V. Petrova, A.F. Morozov. Saint Petersburg: VSEGEI, 2014.
12. Khain V.E., Filatova N.I., Polyakova I.D. (eds.). Proceedings of the Geological Institute. Tectonics, geodynamics and prospects of oil and gas potential of the Eastern Arctic seas and their continental framing. Issue 601. 2009. 227 p.
13. Yashin D.S., Kim B.I. Geochemical signs of oil and gas potential of the Eastern Arctic shelf of Russia // Geology of oil and gas-No. 2007. No. 4. P. 25—29.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR'S CONTRIBUTIONS

Мамедов Р.А. — разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Алланазарова М. А. — внесла вклад в работу при построении и моделирования структурно-тектонической модели и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Сагдеев Р.Р. — присоединился к подготовке текста статьи, выполнил перевод на английский язык и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Суюнбаев Т. Н. — присоединился к подготовке текста статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Rustam A. Mamedov — contributed to the development of the article concept, prepared the text, approved the final version of the manuscript and accepts responsibility for all aspects of the work.

Mehriban A. Allanazarova — contributed to the construction and modeling of the structural-tectonic model and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Rail R. Sagdeev — joined the preparation of the text of the article, translated it into English and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Temirbolat N. Suyunbaev — joined the preparation of the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ/ INFORMATION ABOUT AUTHORS

Мамедов Рустам Ахмедович* — преподаватель кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: mamedovra@mgri.ru
тел.: +7 (977) 600-93-90
SPIN-код: 1694-6435
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8365-7993>

Алланазарова Мехрибан Айдыновна — студентка 5-го курса кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
E-mail: mehrik_allanazarova@mail.ru
Тел.: +7 (968) 385-97-91
SPIN-код: 9360-8406
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3450-2714>

Сагдеев Раиль Радикович — студент 5-го курса общей нефтегазопромысловой геологии ФГАОУ ВО «Российский государственный университет имени И. М. Губкина»
65, Ленинский пр., г. Москва 119296, Россия
E-mail: r-sagdeev@mail.ru
Тел.: +7 (987) 238-81-66
SPIN-код: 7207-8575
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6683-0109>

Суюнбаев Темирболат Нурланулы — студент 5-го курса кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
E-mail: tema.bolat.91@mail.ru
Тел.: +7 (977) 527-86-99
SPIN-код: 9086-9059
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4053-8644>

Rustam A. Mamedov* — lecturer of the Department of Geology and exploration of hydrocarbon deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
E-mail: mamedovra@mgri.ru
Tel.: +7 (977) 600-93-90.
SPIN-code: 1694-6435
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8365-7993>

Mehriban A. Allanazarova — student of the 5th Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
E-mail: mehrik_allanazarova@mail.ru
Tel.: +7 (968) 385-97-91
SPIN-code: 9360-8406
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3450-2714>

Rail R. Sagdeev — 5th year student of general oil and gas field geology of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Russian State University named after I.M. Gubkin”
Leninsky pr., 65, Moscow 119296, Russia
E-mail: r-sagdeev@mail.ru
Tel.: +7 (987) 238-81-66
SPIN-code: 7207-8575
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6683-0109>

Temirbolat N. Suyunbaev — student of the 5th Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
E-mail: tema.bolat.91@mail.ru
Tel.: +7 (977) 527-86-99
SPIN-code: 9086-9059
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4053-8644>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ОЦЕНКА ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ НУРЕКСКОГО РАЙОНА ТАДЖИКИСТАНА

Б.Х. МУМИНОВ¹, И.К. ФОМЕНКО^{1,*}, О.Н. СИРОТКИНА²

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

² ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. Ломоносова»
1, ГСП-1, Ленинские горы, Москва 119991, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Применение геоинформационных технологий является перспективным направлением при картировании и оценке оползневой опасности. В настоящее время активно применяется зондирование земной поверхности при помощи спутников. Спутниковые снимки позволяют не только выявить отдельные оползни, особенно в труднодоступных местах, но и определять участки, на которых оползневые процессы проявлялись, проявляются в настоящее время и могут проявляться в будущем.

Цель. Целью настоящей работы было составление карты распространения оползневых явлений на территории Нурекского района Таджикистана на современном этапе с использованием спутниковых снимков и геоинформационных систем.

Материалы и методы. В данном исследовании составлены карты распространения оползневых явлений, которые были выполнены автоматическим и ручным способом. Работа основана на анализе результатов предыдущих исследований, дешифрирования спутниковых снимков, цифровой модели рельефа и топографических, геоморфологических, инженерно-геологических карт.

Результаты. В результате исследования составлена подробная карта оползневых явлений в формате ГИС и создана база данных по оползневым явлениям, впервые для территории Нурекского района Республики Таджикистан.

Выводы. Выполненное районирование показало, что из общего числа оползней очень мелкие составляют 24%, мелкие — 36%, средние 10%, крупные — 18%, очень крупные оползни — 12%. Оползневые процессы развиты на площади 2601×10^4 м², что составляет 4% от общей площади района. Результаты данной работы демонстрируют, что используемый в этом исследовании подход может быть применим для оценки оползневой опасности в труднодоступных и слабоизученных регионах.

Ключевые слова: оползни, дешифрирование, спутниковые изображения, ГИС, Нурек, Таджикистан

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Муминов Б.Х., Фоменко И.К., Сироткина О.Н. Оценка оползневой опасности Нурекского района Таджикистана. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(1):50—60. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-50-60>

Статья поступила в редакцию 14.06.2021

Принята к публикации 31.05.2022

Опубликована 22.06.2022

* Автор, ответственный за переписку

LANDSLIDE HAZARD ASSESSMENT OF THE NORAK REGION OF TAJIKISTAN

BAKHROMZHON Kh. MUMINOV¹, IGOR K. FOMENKO^{1,*}, OLGA N. SIROTKINA²

¹ *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maclay, Moscow 117997, Russia*

² *Lomonosov Moscow State University
GSP-1, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia*

ABSTRACT

Introduction. The application of geographic information system (GIS) technologies is a promising technology for mapping and evaluating landslide hazards. At present, satellite-based terrestrial sensing is widely used. Satellite images make it possible not only to identify individual landslides, particularly in hard-to-reach areas, but also to identify those locations where landslide processes have manifested, are manifesting and may manifest themselves in the future.

Aim. Mapping of the present landslide propagation in the territory of the Norak region of Tajikistan using satellite imaging and GIS.

Materials and methods. In the course of the study, maps of landslide propagation were compiled both automatically and manually. An analysis of the results of previous studies and interpretations of satellite images was conducted. Digital models of the relief, as well as topographic, geomorphological, engineering and geological maps, were investigated.

Results. A detailed map of landslide phenomena was compiled in the GIS format and a database of landslide phenomena was created for the first time for the territory of the Norak region of the Republic of Tajikistan.

Conclusions. The conducted zoning showed that, out of the total landslide number, 24%, 36%, 10%, 18% and 12% correspond to very small, small, medium, large, and very large landslides, respectively. The landslide processes are developed across the area of $2601 \times 10^4 \text{ m}^2$, which accounts for the 4% of the total area of the district. The results demonstrate that the approach used in this study may be applicable to the landslide hazard assessment in hard-to-reach and poorly studied regions.

Keywords: landslides, decoding, satellite images, GIS, Norak, Tajikistan

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: B.Kh. Muminov, I.K. Fomenko, O.N. Sirotkina. Landslide hazard assessment of the Norak region of Tadjikistan. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(1):50—60. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-50-60>

Manuscript received 14 June 2021

Accepted 31 May 2022

Published 22 June 2022

* Corresponding author

Научно обоснованный прогноз реакций литосферы на различные виды естественных и искусственных взаимодействий и составление на этой основе карты оползневой опасности дают возможность правильно спланировать мероприятия по управлению состоянием региональных, локальных и элементарных литотехнических систем (ЛТС), обосновать пространственно-временную структуру мониторинга ЛТС, создать инженерно-геологи-

ческую основу для разработки плана народно-хозяйственного освоения территорий [1].

За последние годы в разных странах и разными исследователями были разработаны новые методы комплексного анализа ЛТС с целью прогнозирования развития оползней различного генезиса [2, 5, 10, 12]. Так как большинство методов прогнозирования оползневой опасности требуют комплексного анализа значительных массивов

данных, все большее применение находят методики, основанные на использовании геоинформационных систем (ГИС) [2, 9, 11, 13—15]. С внедрением ГИС моделирование оползневой опасности стало доступным, удобным и возможным как при научном анализе, так и при экономической оценке прогнозного освоения территорий [8].

Целью настоящей работы было составление карты распространения оползневых явлений на территории Нурекского района Таджикистана на современном этапе с использованием спутниковых снимков (СС) и геоинформационных систем.

Для этой цели использовались как результаты предыдущих исследований (сделанные в советский период), так и результаты дешифрирования современных СС [3, 4]. Появление данных, полученных спутниками, позволяет сделать картографирование рельефа более обоснованным, т.к. СС весьма информативны в отношении современной динамики рельефа, направленности и активности его преобразования. Массовость, разномасштабность СС и длительность ведения съемки позволяют анализировать взаимоотношения различных типов рельефа на больших территориях, проследить типологические поверхности на значительных расстояниях.

Все это позволяет более объективно и достоверно выделять формы рельефа, образованные опасными геологическими процессами, чем при их рисовке по топографическим картам «вслепую». Следует отметить, что при дешифрировании СС выявлены крупные оползневые смещения, которые не обнаруживаются традиционными методами исследований, в то же время многие известные оползни, представляющие угрозу отдельным объектам народного хозяйства, не выделялись на снимках ввиду их относительно небольших размеров. Как правило, такие оползни входят в выделенные крупные оползневые зоны.

С использованием ГИС в разы выросла точность картографирования оползней и зон их развития, а также возможность измерения их параметров.

Материалы и методы

Территория Таджикистана как горной страны подвержена воздействию многочисленных опасных геологических процессов, таких как землетрясения, оползни, обвалы, сели, наводнения, снежные лавины. В связи с дефицитом территорий, пригодных для жизни и деятельности населения (93% территории Таджикистана занимают горы, мало пригодные для проживания), очень остро

стоит вопрос о рациональном использовании пригодных для проживания земель, о защите населения от опасных геологических процессов, о планировании и разработке защитных мероприятий, о планировании устойчивого экономического развития горных территорий.

Нурекский район расположен в Вахшской долине, центральной части Республики Таджикистан. В административном отношении территория относится к Нурекскому району Хатлонской области. Центральная часть района относится к зоне интенсивного хозяйственного освоения. Здесь в прибрежной зоне Нурекского водохранилища расположена автомагистраль Душанбе — Куляб. Антропогенная деятельность приводит к современным геологическим процессам в береговой зоне. Это переработка берегов, оползни, просадки, подъем уровня подземных вод и др., что осложняет строительство и затрудняет эксплуатацию.

За последние годы накоплен значительный материал по опасным геологическим процессам и явлениям, появились новые методы выявления и оценки степени их опасности, новое программное обеспечение, позволяющее проводить более глубокий анализ различных факторов, влияющих на развитие и проявление этих процессов.

Так как большинство методов прогнозирования оползневой опасности требуют комплексного анализа значительных массивов данных, все большее применение находят методики, основанные на использовании ГИС [2]. С использованием ГИС в разы выросла точность картографирования оползней и зон их развития, а также возможность измерения их параметров.

Методика исследований включала следующие виды работ:

- анализ и обобщение тематических материалов опубликованной и фондовой литературы по проблеме изучения оползней в Нурекском районе Таджикистана;
- дешифрирование космических снимков, анализ цифровых моделей рельефа и топографических карт

Это позволило установить закономерности распространения оползневых проявлений на исследуемой территории: распознать границы оползневых тел и, как следствие, оценить масштабность оползневых процессов. При дешифрировании использовались спутниковые снимки с интернет-сервиса Google Earth. Время съемки СС находится в пределах от 2005 до 2012 г.

Результаты и обсуждения

На площади района развиты морские, лагунные и континентальные породы верхнеюрского, мелового, палеогенового и неогенового возраста. Отложения смяты в складки общего северо-восточного простирания и нарушены многочисленными разломами, на которых основным является Вахшский надвиг. Четвертичные образования представлены континентальными фациями, среди которых выделены аллювиальные, пролювиальные, озерные, аллювиально-пролювиальные и делювиальные.

Инженерно-геологические условия района характеризуются высокой степенью сложности, обусловленной развитием разнообразных видов осадочных пород мезозойско-кайнозойского возраста, значительно дислоцированными, и раздробленными тектоническими нарушениями.

Сильно расчлененный рельеф района обусловлен наличием хорошо развитой гидрогеологической сети. Водотоки впадают в Нурекское водохранилище. Основная водная артерия, питающая Нурекское водохранилище, р. Вахш, берет начало в горах Памиро-Алая и пересекает описываемую территорию с северо-востока на юго-запад. Долина реки Вахш на большем своем протяжении является узкой и глубоко врезанной.

Исследуемая территория отличается сложностью геоморфологического строения, обусловленной взаимодействием эндогенных и экзоген-

ных процессов, действующих при формировании рельефа. По схеме геоморфологического районирования Таджикистана, предложенной [6, 7], описываемая территория входит в состав геоморфологической области, именуемой «Южно-Таджикская впадина». Характерными особенностями рельефа Южно-Таджикской впадины являются ярко выраженная структурность и широкое развитие форм аккумулятивного происхождения.

Выявление зон развития оползневых явлений требует учета многих факторов, участвующих в процессах развития и проявления оползней. Ввиду того что картографирование оползней производилось по материалам спутниковых съемок, без обследования на местности, не проводилось какой-либо классификации оползней. Тем более что для оценки опасности оползня не надо его классифицировать по типу. Тем не менее для более правильного отражения ситуации с оползневой опасностью были использованы материалы предыдущих картографических работ. Были использованы инженерно-геологические и геоморфологические карты, составленные при комплексных гидрогеологических и инженерно-геологических съемках масштаба 1:200 000, карты специализированных работ масштаба 1:500 000. Результатом работ явилась карта пораженности оползневыми процессами территории района Нурек (рис. 1).

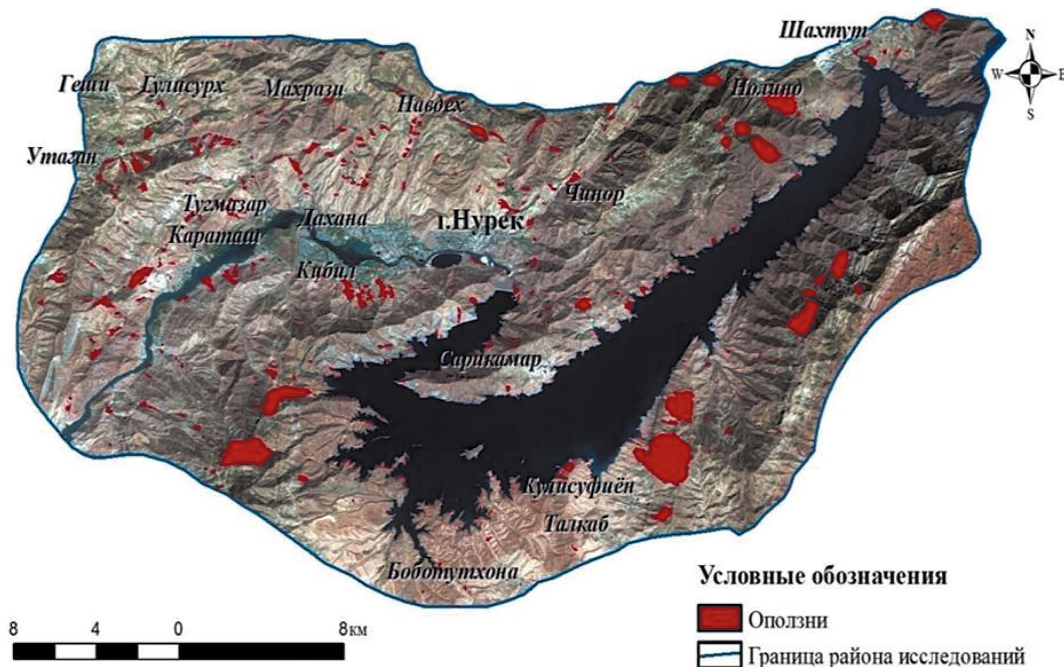


Рис. 1. Карта пораженности оползневыми процессами территории района Нурек, Таджикистан
Fig. 1. Landslides impact map of the territory of Nurek region, Tajikistan

На исследованной территории современные геодинамические процессы широко распространены и представлены разнообразными формами. Факторами для широкого развития процессов служат: горный расчлененный рельеф с крутыми склонами, наличие на склонах комплексов рыхлых неустойчивых отложений, отсутствие растительности, довольно широкое распространение легкорастворимых пород, высокая сейсмичность района. Мощным толчком к активизации современных геологических процессов послужило образование Нурекского водохранилища.

Все оползневые явления показаны залитыми цветом контурами, что позволило определить их площади. Это дает возможность более объективно оценивать оползневую опасность территорий через коэффициент оползневой пораженности. Ранее на аналогичных картах [3 и др.] мелкие оползни показывались внесмасштабными знаками, а районы распространения мелких оползней — овальными контурами (без привязки их к рельефу), внутри которых указывалось количество оползней определенного типа. Такой подход не позволяет оценить территорию по степени оползневой опасности количественно, а только качественно, субъективно. Привязка всех выделенных оползневых явлений в географических координатах позволит в будущем пополнять базу данных новыми произошедшими оползнями и проводить обоснованное районирование по степени оползневой опасности.

В результате работ на исследуемой территории было выявлено 648 оползневых участков (табл.), а пораженность территории оползневыми процессами составила $2601 \times 10^4 \text{ м}^2$. В Нурекском районе по условиям рельефа и геологическим особенностям местности оползнеопасные территории составляют 4% от общей площади района.

Основная причина возникновения оползневых подвижек на территории: переувлажнение пород атмосферными осадками в годы, когда количество выпадающих атмосферных осадков аномально высоко. При формировании крупных оползней, с захватом коренных отложений, главную роль играют сейсмические факторы. Появление Нурекского водохранилища вызвало как образование новых, свежих оползней, так и активизацию давних оползневых форм.

Формирование оползневой активности отмечаются по всей территории района Нурека. Очень крупные оползни составляют $315 \times 10^4 \text{ м}^2$ территории района (рис. 2).

Количество крупных и средних оползней равно 7, и их площадь составляет $715 \times 10^4 \text{ м}^2$. В основном эти оползни распространены на обоих бортах водохранилища Нурекской ГЭС. По всей территории района распространены мелкие и очень мелкие оползни. Здесь наблюдается формирование 945 мелких оползней, и их площадь составляет $945 \times 10^4 \text{ м}^2$. Более 500 очень мелких оползней зафиксировано на этой территории общей площадью $526 \times 10^4 \text{ м}^2$.

Активизация оползневых процессов, приводящих к разрушению инженерных сооружений. Оползневые явления на территории достаточно часто приводят к чрезвычайным ситуациям с большим материальным ущербом и даже человеческими жертвами.

По итогам расчетов установлено, что около 36% оползней характеризуются как мелкие (рис. 3). Такие виды оползней в основном распространены в северных частях районов. Очень мелкие оползни занимают 24% от общего количества оползней. Этот вид оползней встречается по всем частям районов. На долю крупных видов оползней приходится всего 18%. Очень крупные оползни составляют 12% и средние — 10% от общего количества оползней.

Оползни полукруглые широко распространены на описываемой территории и образуются преимущественно в четвертичных отложениях. В зависимости от стадии развития оползневое тело может быть смещено без существенного нарушения его внутреннего строения. В большинстве же случаев поверхность оползневых тел покрыта трещинами шириной до 1 м и ступенчатая. Причина образования полукруглых оползней — снижение прочности пород в основании массива за счет увлажнения, выщелачивания и выдавливания пластичных пород.

Таблица. Количество оползней и территория пораженности

Table. The number of landslides and the affected area

Ранги оползней, $\times 10^4 \text{ м}^2$	Площадь оползней, $\times 10^4 \text{ м}^2$	Количество оползней
Очень крупные (200—400)	315	1
Крупные (100—200)	483	4
Средние (50—100)	232	3
Мелкие (5—50)	945	84
Очень мелкие (<5)	626	556

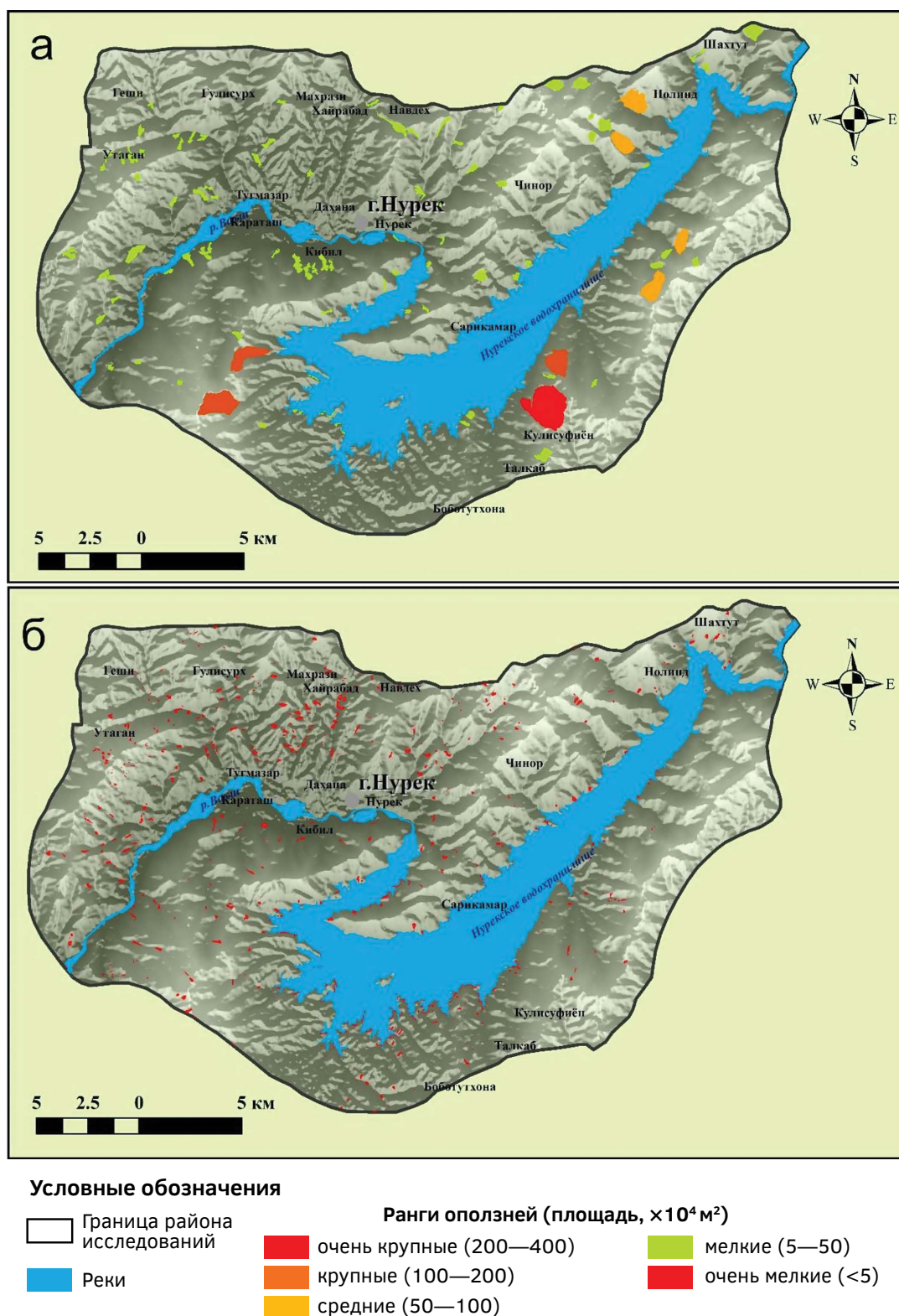


Рис. 2. Карты ранжирования оползней по масштабу проявления на территории Нурекского района: а — очень крупные, крупные, средние, мелкие; б — очень мелкие

Fig. 2. Maps of landslides ranking according to the scale of manifestation on the territory of Nurek region: a — very large, large, medium, small; b — very small

Форма оползневых тел часто зависит от сдвигающихся пород. В глинистых и связных породах форма оползней самая различная: циркообразная, глетчеровидная, грушевидная, эллипсоидальная и т.д. Оползневые явления приводят к образованию весьма характерных форм мезо- и микрорельефа. Поэтому дешифрирование оползней велось преимущественно по их форме и рисунку фотоизображения. Сформированные «свежие» оползни выделяются по четким формам рельефа, светлому, иногда почти белому фото тону стенок срыва. Некоторые мелкие оползни находятся в активном состоянии до сих пор. В 2005 году в результате переувлажнения горных пород атмосферными осадками сформировались мелкие оползни в селе Кибил (рис. 4). В данном участке горы сложены лёссами и лёссовидными суглинками. Лёссы и лёссовидные суглинки здесь имеют широкое распространение, с ними связаны многие сформировавшиеся оползни различного масштаба.

На территории исследования формирование большей части современных действующих оползней и оползней, находящихся в состоянии временной устойчивости, связано с климатическими условиями и большим распространением лёссов и лёссовидных суглинков, наиболее сильно подверженных влиянию атмосферных осадков.

Анализ представленной карты позволяет определить участки проведения первоочередных

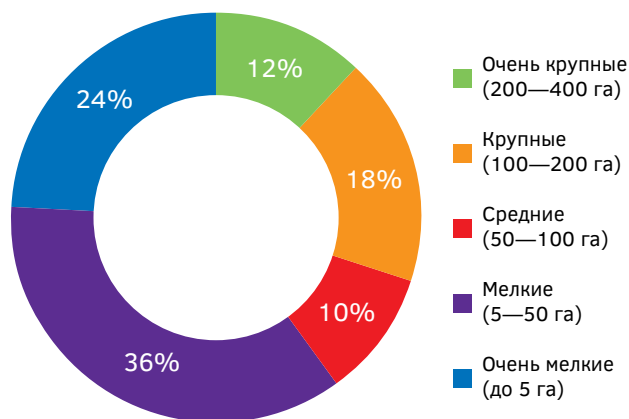


Рис. 3. Диаграмма распределения оползней по рангам, %

Fig. 3. Diagram of the distribution of landslides by ranks, %

полевых исследований, к которым могут быть отнесены:

- левый берег Нурекского водохранилища, так как здесь наблюдаются крупные и средние оползни, которые расположены близко к водохранилищу;
- мелкие оползни, которые расположены рядом с селом Кибил.

На рисунке 5 видно, что, в течение 15 лет зона оползневых процессов увеличивается



Рис. 4. Оползень в лёссах в г. Нурек, 2005 г. (фото Н.Р. Ищук)

Fig. 4. Landslide in the loess in the city of Nurek, 2005 (photo by N.R. Ischuk)



Рис. 5. Развитие оползневого процесса в лёссах во времени, с. Кибил. а — спутниковый снимок 2005 г., б — спутниковый снимок 2020 г.

Fig. 5. Development of a landslide process in loess soils in time, Kibil village. а — satellite image — 2005, б — satellite image in 2020

высокими темпами. И до сих пор продолжается формирование различных масштабов оползней.

Надо отметить еще очень важную особенность оползневых процессов, происходящих в лёссовых породах. Это важно при разработке оползнезащитных мероприятий и оценке риска. Практически все оползни в лёссовых породах начинаются

с просадки массива пород на склоне, которая вызывается также и суффозией. Далее при движении вниз по склону этот массив может превратиться в грязевой поток, способный продвинуться на большое расстояние, например повернуть вниз по долине, и превратиться в селевой поток. В рыхлых четвертичных породах выделяются

оползневые зоны, где оползни происходят по бортам многочисленных саёв, врезов и часто служат причиной возникновения селей. Это необходимо учитывать при оценке риска от оползневых процессов.

Заключение

В результате исследования составлена подробная карта оползневых явлений в формате ГИС и создана база данных по оползневым явлениям, впервые для территории Нурекского района Республики Таджикистан.

Выполнено районирование и показано, что из общего числа оползней очень мелкие составляют 24%, мелкие — 36%, средние — 10%, крупные — 18%, очень крупные оползни — 12%. Оползневые процессы развиты на площади 2601×10^4 м², что составляет 4% от общей площади района.

Результаты данной работы демонстрируют, что используемый в этом исследовании подход может быть применим для оценки оползневой опасности в труднодоступных и слабоизученных регионах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярз Л.А. Инженерная геодинамика. М.: КДУ, 2007. 327 с.
2. Зыонг М.Х., Фоменко И.К., Пендин В.В. Региональный прогноз оползневой опасности для района Ха Лонг — Кам Фа на северо-востоке Вьетнама // Инженерная геология. 2013. № 1. С. 46—54.
3. Ишчук Н.Р. Объяснительная записка к карте ледниковых форм, селевых и оползневых явлений Таджикистана. Душанбе, 2019. 80 с.
4. Ишчук Н.Р., Ишчук А.Р., Саидов М.С. Результаты использования космических снимков и ГИС при картировании оползней Таджикистана. // Наука и Инновация. 2017. № 2. С. 92—100.
5. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л.: Недра, 1977. 479 с.
6. Лоскутов В.В. Геоморфология Таджикистана. Новейший этап геологического развития территории Таджикистана. Душанбе: Дониш, 1962. С. 189—214.
7. Лоскутов В.В. Геоморфологическая карта Таджикистана масштаба 1:500 000. М.: Недра, 1971.
8. Нгуен Ч.К., Фоменко И.К., Пендин В.В., Нгуен К.Т. Применение метода анализа иерархий при региональной оценке оползневой опасности (на примере района северо-западный Лаокай, Вьетнам) // Геоинформатика. 2017. № 3. С. 53—66.
9. Пендин В.В., Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности. М.: ЛЕНАНД, 2015. 320 с.
10. Тихвинский И.О. К вопросу об использовании метода оползневого потенциала // Разработка методов прогнозной оценки развития оползневых явлений в условиях горно-складчатых областей альпийского орогена. Тбилиси: Мецниереба, 1978. С. 52—56.
11. Barredo J.I., Benavides A., Hervás J., van Westen C.J. Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2000. Vol. 2. No. 1. P. 9—23 [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(00\)85022-9](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(00)85022-9)
12. Komac M. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in peri-alpine Slovenia // Geomorphology. 2006. V. 74. No. 1—4. P. 17—28. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.07.005>
13. Lulseged A., Hiromitsu Y. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan // Geomorphology. 2005. Vol. 65. No. 1—2. P. 15—31.
14. Saro L. Application of Likelihood Ratio and Logistic Regression Models to Landslide Susceptibility Mapping Using GIS // Environmental Management. 2004. Vol. 34. No. 2. P. 223—232. <https://doi.org/10.1007/s00267-003-0077-3>
15. Tarboton D.G., Pack R.T., Goodwin C.N., Prasad A. Sinmap user's Manual. Sinmap 2: A stability index approach to terrain stability hazard mapping: Version for ArcGIS 9.x and Higher / Utah state university; Terratech consulting Ltd.; Canadian forest products Ltd.; C.N. Goodwin fluvial system consulting, 2005. P. 1—39.

REFERENCES

1. Bondarik G.K., Pendin V.V., Yarg L.A. Engineering geodynamics. Moscow, KDU, 2007. 327 p. (In Russian).
2. Duong M.H., Fomenko I.K., Pendin V.V. Regional forecast of landslide hazard in the region of the halong and cam pha cities in the north-east of vietnam // Engineering Geology. 2013. No 1. P. 46—54 (In Russian).
3. Ishchuk N.R. The explanatory note to the map of glacial forms, mudslides and landslides in Tajikistan. Dushanbe, 2019. 80 p. (In Russian).
4. Ishchuk N.R., Ishchuk A.R., Saidov M.S. Results of the use of satellite images and GIS in mapping landslides in Tajikistan // Science and innovation. 2017. No. 2. C. 92—100 (In Russian, in Tajik).

5. Lomtadze V.D. Engineering geology. Engineering geodynamics. Leningrad: Nedra, 1977. 479 p. (In Russian).
6. Loskutov V.V. Geomorphology of Tajikistan. The latest stage of geological development of the territory of Tajikistan. Dushanbe: Donish, 1962. P. 189—214 (in Russian).
7. Loskutov V.V. Geomorphological map of Tajikistan scale 1:500 000. Moscow: Nedra, 1971 (In Russian).
8. Nguyen Ch.K., Fomenko I.K., Pendin V.V., Nguyen K.T. Application of the Hierarchy Analysis Method in the regional landslide hazard assessment (for example, the North-West Lao Cai region, Vietnam) // Geoinformatika. 2017. No. 3. P. 53—66 (In Russian).
9. Pendin V.V., Fomenko I.K. Methodology of landslide hazard assessment and prediction. Moscow: LENAND, 2015. 320 p. (In Russian).
10. Tikhvinskiy I.O. On the use of the landslide potential method // Development of methods for predictive assessment of the development of landslide phenomena in the conditions of mountain-folded areas of the Alpine orogen. Tbilisi: Metsniyereba, 1978. P. 52—56 (In Russian).
11. Barredo J.I., Benavides A., Hervás J., van Westen C.J. Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2000. Vol. 2. No. 1. P. 9—23. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(00\)85022-9](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(00)85022-9)
12. Komac M. A Landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in peri-alpine Slovenia // Geomorphology. 2006. V. 74. No. 1—4. P. 17—28. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.07.005>
13. Lulseged A., Hiromitsu Y. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan // Geomorphology. 2005. Vol. 65. No. 1—2. P. 15—31.
14. Saro L. Application of Likelihood Ratio and Logistic Regression Models to Landslide Susceptibility Mapping Using GIS // Environmental Management. 2004. Vol. 34. No. 2. P. 223—232. <https://doi.org/10.1007/s00267-003-0077-3>
15. Tarboton D.G., Pack R.T., Goodwin C.N., Prasad A. Sinmap user's Manual. Sinmap 2: A stability index approach to terrain stability hazard mapping: Version for ArcGIS 9.x and Higher / Utah state university; Terratech consulting Ltd.; Canadian forest products Ltd.; C.N. Goodwin fluvial system consulting, 2005. P. 1—39.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Муминов Б.Х. — выполнил работы по геологическому картированию оползней Нурекского района, дешифрирование данных дистанционного зондирования, создал ГИС-проект распространения оползневых явлений на исследуемой территории.

Фоменко И.К. — разработал концепцию статьи, отредактировал и окончательно утвердил публикуемую версию статьи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Сироткина О.Н. — выполнила анализ информации, подготовила и оформила текст статьи, рисунки и таблицы.

Bakhromzhon Kh. Muminov — performed work on geological mapping of landslides in the Nurek region, deciphering remote sensing data, created a GIS project for the spread of landslides in the study area.

Igor K. Fomenko — developed the concept of the article, edited and finally approved the published version of the article, agree to take responsibility for all aspects of the work.

Olga N. Sirotkina — performed the analysis of information, prepared and formalized the text of the article, figures and tables.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

Муминов Бахромжон Халилович — аспирант кафедры экологии и природопользования экологического факультета ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе.

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

E-mail: bahromzhon95@mail.ru

Тел.: (+992) 900704045

SPIN-код: 6211-3138

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9113-3156>

Bakhromzhon Kh. Muminov — Post-graduate researcher, Department of Ecology and Nature Management, Faculty of Ecology, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maclay, Moscow 117997, Russia

E-mail: bahromzhon95@mail.ru

Тел.: (+992) 900704045

SPIN-code: 6211-3138

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9113-3156>

Фоменко Игорь Константинович* — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры инженерной геологии гидрогеологического факультета ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

E-mail: ifolga@gmail.com

Тел.: 8-916-922-45-39

SPIN-код: 9127-1871

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2318-6015>

Сироткина Ольга Николаевна — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник кафедры динамической геологии ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. Ломоносова».

1, ГСП-1, Ленинские горы, Москва 119991, Россия

E-mail: onsirotkina@gmail.com

Тел.: 8-916-552-54-55

SPIN-код: 1822-6528

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8171-1960>

Igor K. Fomenko* — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Prof. of Department of Engineering Geology, Faculty of Hydrogeological, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting

23, Miklukho-Maclay, Moscow 117997, Russia

E-mail: ifolga@gmail.com

Тел.: 8-916-922-45-39

SPIN-code: 9127-1871

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2318-6015>

Olga N. Sirotkina — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), researcher, Department of Dynamic Geology, Lomonosov Moscow State University.

GSP-1, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia

E-mail: onsirotkina@gmail.com

Тел.: 8-916-552-54-55

SPIN-code: 1822-6528

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8171-1960>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКОЙ БАЗЫ МЕТОДИКИ ДВУМЕРНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ЕЕ РАЗВИТИЮ И УНИФИКАЦИИ

В.В. РОМАНОВ

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В работе проанализировано состояние терминологической базы методики двумерной сейсморазведки в период с 1933 по 2015 год, даны оценка ее состоянию и предложения по обновлению и пересмотру некоторых ключевых понятий.

Цель. Анализ существующих терминологических баз методики двумерной сейсморазведки и формирование новой базы в данной предметной области на основе системного подхода.

Материалы и методы. Ознакомление с терминами, содержащимися в учебной, справочной и нормативной литературе по сейсморазведке, опубликованной период с 1933 по 2015 год, обобщение и критический анализ выявленных терминологических баз.

Результаты. Выделенный интервал поделен на три этапа на основе состояния терминологии сейсморазведки. Первый этап охватывает период с 1933 по 1959 год, когда устойчивые понятия технологии сейсморазведки проходили стадию формирования, количество терминов в то время было невелико, многие из них отличались громоздкостью или неопределенностью описываемого понятия. В период 1960—1992 гг. появилась актуальная терминологическая база, унифицированная в государственном стандарте. Последний, третий этап развития отличается низкими темпами развития терминологии, в ряде публикаций наблюдается возврат к устаревшим или неудачным терминам.

Автором были выделены наиболее устойчивые термины, их унифицированные определения, даны рекомендации по их использованию. К пересмотру предложены определения ключевых понятий — расстановки и удаления (дистанции) с учетом разнообразия систем наблюдений, применяемых в двумерной сейсморазведке, а также новые термины, унаследованные из практики трехмерной сейсморазведки и теории групп, — это приемная линия, удаление расстановки, шаблон, шаг шаблона, порядок, рассмотрена классификация шаблонов.

Заключение. В результате проделанной работы было рассмотрено состояние терминологической базы методики двумерной сейсморазведки, выявлены ее недостатки и проблемы, предложены пути ее улучшения за счет добавления новых терминов и пересмотра содержания старых.

Ключевые слова: сейсморазведка, история сейсморазведки, термины сейсморазведки, методика сейсморазведки, удаление, расстановка

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Благодарности: работа посвящена памяти известных педагогов-сейсморазведчиков, работавших в МГРИ, — Г.Н. Боганика (1935—2007) и М.Б. Шнеерсона (1930—2021).

Для цитирования: Романов В.В. Анализ развития терминологической базы методики двумерной сейсморазведки и предложения по ее развитию и унификации. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(1):61—74.
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-61-74>

Статья поступила в редакцию 28.01.2021
Принята к публикации 01.06.2022
Опубликована 22.06.2022

ANALYSIS OF A TERMINOLOGICAL BASE IN THE FIELD OF TWO-DIMENSIONAL SEISMIC SURVEYING AND PROPOSALS ON ITS DEVELOPMENT AND UNIFICATION

VIKTOR V. ROMANOV

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

ABSTRACT

Introduction. The state of the terminological base used in the field of two-dimensional seismic surveying in the period 1933–2015 is analyzed and proposals to revise some key concepts are made.

Aim. An analysis of the existing terminological base of the procedure of two-dimensional seismic surveying and the formation of a new base on the basis of a system approach.

Materials and methods. An analysis of the terms used in educational, reference and normative literature on seismic surveying published in 1933–2015, followed by a critical analysis of the revealed terminological bases.

Results. The investigated interval was divided into three stages on the basis of the state of terminology applied in seismic surveying. The first stage covered the period from 1933 to 1959, when the fundamental concepts of seismic surveying technology were passing the stage of formation. The quantity of terms at that time was small, many of them were characterised by unwieldiness or uncertainty of the described concept. In the period 1960–1992, the forming terminological base was presented in a state standard. The third stage was characterized by a slow pace of terminology development, when a number of publications showed a return to outdated or unsuccessful terms. The author identified the most stable terms, their unified names and definitions, and provided recommendations for their use. The following definitions of key concepts were proposed for revision: placement removal (distance), taking into account the variety of observation systems used in 2D seismic surveying; new terms inherited from the practice of 3D seismic surveying and group theory, including receiving line, placement removal, template, template step, order. A classification of templates was considered.

Conclusion. The state of the terminological base in the field of two-dimensional seismic surveying, including its shortcomings and problems, was analyzed. It is proposed to improve the current terminological base by adding new terms and revising the existing definitions.

Keywords: seismic surveying, seismic survey history, seismic survey terms, seismic survey procedure, placement, removal

Conflict of interest: the author declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

Acknowledgments: In memory of G.N. Boganik (1935—2007) and M.B. Schneerson (1930—2021).

For citation: Romanov V.V. Analysis of a terminological base in the field of two-dimensional seismic surveying and proposals on its development and unification. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(1):61—74. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-61-74>

Manuscript received 28 January 2021

Accepted 01 June 2022

Published 22 June 2022

Под термином понимается слово (словосочетание), означающее специальное понятие знания или деятельности. В отличие от слов, используемых в обычной речи, в пределах данной отрасли или специализации термины должны иметь единственный смысл, исключающий возможность неверного понимания [27]. Термины могут быть однословными, состоящими из одного слова или образованными сложением основ и имеющими слитное или дефисное написание, а также термины-словосочетания, называемые составными или многокомпонентными [3]. Терминологией называется совокупность терминов некоторой области деятельности, изоморфная системе ее понятий и обслуживающая ее *коммуникативные потребности*. Использование разных терминологических баз затрудняет коммуникацию между геофизиками, а также студентов и преподавателей в области геофизики.

Термины имеют внутреннюю структуру, входят в различные классификации, соподчинены друг другу, имеют тенденцию к развитию, наполнению новым содержанием, переосмыслению и устареванию. Термины являются универсальными инструментами познания и средством фиксации научно-технического знания, они подвергаются унификации [1]. В работе [26] было показано, что значительное понятийно-терминологическое наследие разведочной геофизики, включающее сейсморазведку, до сих пор неупорядоченно. Актуальными остаются проблемы построения научно обоснованной терминологии и систематизации понятий, важные для развития геофизики и подготовки научных и инженерных кадров. С другой стороны, авторы существующих учебников и учебных пособий в многом ответственны за существующий терминологический хаос [4].

В данной работе предпринята попытка создания обоснованной терминологической базы в области методики двумерной сейсморазведки на основе следующих принципов:

- обоснованность определений и наименований терминов, их корректность и непротиворечивость;
- целесообразность существования малоиспользуемых терминов в терминологии;
- однозначность толкования терминов, недопустимость использования многих терминов-синонимов (дублетов) для обозначения одного понятия;
- актуальность терминов, вытеснение архаичных терминов современными;
- краткость и образность терминов, приоритет однословных терминов над составными;

- системность;
- историческая унаследованность, обоснованность введения новых названий для устоявшихся понятий;
- лингвистические особенности пользователей терминов, приоритет натуральных терминов над переводными.

Терминологическая база методики двумерной (профильной) сейсморазведки базируется на следующих терминах: сейсмоприемник, пункт, система наблюдений, удаление, расстановка, схема наблюдений. Указанные термины неоднократно менялись за практически столетний период существования отечественной сейсморазведки, однако унифицированная *общепринятая* терминология пока находится в стадии становления. Анализ большого количества источников показывает, что даже наличие ГОСТ по терминам и определениям в сейсморазведке не сильно улучшает состояние терминологической базы.

Опорная терминологическая база

Для анализа эволюции терминов в качестве опорной базы использованы понятия из [5, 11, 16, 17] с небольшими исправлениями и уточнениями автора статьи.

Сейсмоприемник (СП) — преобразователь сейсмического сигнала в электрический. **Пункт (П)** — место установки источника или сейсмоприемника (группы приемников). Пункты подразделяются на **пункты приема (ПП)** и **пункты возбуждения (ПВ)**. **Система наблюдений (СН)** — взаимное расположение пунктов возбуждения и приема. **Удаление (I)** — расстояние между пунктами приема и возбуждения. **Расстановка** — совокупность пунктов приема, в которых выполняется одновременная регистрация сейсмической информации. **Параметры расстановки** — шаг приема, количество пунктов приема, длина, относительная координата источника, вид, вынос, шаг возбуждения. **Шаг приема $\Delta x_{пп}$** — расстояние между соседними пунктами приема расстановки. **Количество пунктов приема N** — число пунктов приема, образующих расстановку. **Длина расстановки L_p** — расстояние между крайними пунктами приема расстановки. **Удаление расстановки (P)** — разность координат первого приемника расстановки и пункта возбуждения. **Вид расстановки** зависит от удаления.

Определены следующие виды расстановок:

- *левофланговая выносная*, $P < 0$;
- *левофланговая*, $P = 0$;
- *центральная симметричная*, $P = L_p/2$;

• *центральная асимметричная*, $0 < P < L_n$, $P \neq L_n/2$;

• *правофланговая*, $P = L_n$;

• *правофланговая выносная*, $P > L_n$.

Вынос R — расстояние от пункта возбуждения до ближайшего пункта приема расстановки.

Шаг возбуждения $\Delta x_{пв}$ — расстояние, на которое перемещаются пункты приема расстановки и пункт возбуждения при профилировании. **Схема наблюдений** — двухзнаковое обозначение компонент колебаний сейсмических волн, возбуждаемых источниками и измеряемыми сейсмоприемниками.

Для понимания полноты и удобства этой базы и внесения предложений по ее улучшению автором статьи было рассмотрено развитие терминов сейсморазведки в учебных, справочных, нормативных и научных изданиях, где в явном виде раскрываются определения интересующих понятий.

История развития терминологической базы в области методики сейсморазведки

Для рассмотрения развития терминологии были выбраны учебники и пособия, а также нормативные документы и справочники. Особенность источников перечисленных типов — в прямом или косвенном определении терминов при изложении материала. По ним проходят обучение будущие специалисты, студенты вузов и техникумов, именно из учебников и пособий заимствуется будущий специальный язык. Рассмотрены отечественные, переводные и зарубежные источники за период 1933—2015 гг.

В монографии, по сути — неофициальном учебнике П.Т. Соколова (1933) [48] при описании функции годографа используется независимая величина r — «расстояние от места взрыва до точки (установки сейсмографа)». В издании 1934 г. [15] пункт приема называется «место наблюдений», «точка наблюдений», «приемник» или «точка стояния прибора», пункт возбуждения — «место (точка) взрыва», удаление — «расстояние между местом взрыва и сейсмографом». Также используется термин «источник сотрясения (возмущения)» — источник сейсмических волн. Поставлен знак равенства между терминами «сейсмический инструмент» и «сейсмограф».

В сборнике статей по сейсмической разведке (1938) В.С. Воюцким и Ю.В. Ризниченко [12, 41] используются термины: пункт возбуждения — «место удара», удаление — «расстояние между местом удара и сейсмографом», «база измерений», пункт возбуждения — «точка взрыва», «точка

установки сейсмографа», удаление — «удаление сейсмографа от точки взрыва».

В учебном издании Л.Я. Нестерова и др. (1938) [35] рассматриваются понятия: «расстояние между приборами» (шаг приема), «перестановка» (расстановка), «длина перестановки» (длина расстановки), «расстояние между точкой взрыва (источником) и приемником сотрясений (сейсмографом)» — удаление. Упомянут термин «стоянка инструментов» — расстановка. Позиция взрывного источника на профиле называется «пунктом (точкой) взрыва».

В кратком курсе прикладной геофизики В.А. Сельского (1938) [45] шаг приема именуется «расстояние между точками приема сотрясений» или «интервал сейсмографов», шаг возбуждения — «расстояние между точками возбуждения сотрясений», пункт возбуждения — «точка взрыва», сейсмоприемник — «прибор» или «сейсмограф», удаление — «расстояние между взрывом и прибором». Указывается, что механические сейсмографы вышли из употребления. Приспособления для записи сейсмограмм в курсе объединены под названием «инструменты прикладной сейсмометрии».

В работе Ю.В. Ризниченко (1949) [42] удаление называется «удалением сейсмографа от пункта взрыва», длина расстановки названа «длиной годографа». В учебнике Л.В. Сорокина и др. (1950) [49] встречается термин «сейсмоприемник» как синоним понятия «сейсмограф». Пункт возбуждения называется «пункт взрыва» и «пункт возбуждения волны», пункт приема — «пункт (точка) наблюдения», «пикет стоянки приемника», удаление — «удаление сейсмоприемников от пункта взрыва», шаг возбуждения — «взрывной интервал», расстановка — «установка», «интервал», длина расстановки — «база сейсмоприемников», шаг приема — «шаг сейсмоприемников».

В учебнике Г.А. Гамбурцева (1959) [14] закреплено наименование «сейсмограф» за всеми приборами, предназначенными для записи сотрясений — сейсмических колебаний. В частности, сейсмоприемником назван прибор для измерения компонент вектора смещения. Современные нам сейсмические электромагнитные приемники (геофоны) названы автором «электрическими сейсмографами». Пункт возбуждения в книге — это «пункт взрыва», сейсмоприемники — «сейсмографы» или «приборы», расстановка — «установка» или «стоянка», удаление — «удаление (расстояние) сейсмографа от пункта взрыва», шаг возбуждения — «интервал между двумя соседними пикетами взрыва». Термин «схема наблюдений»

используется для описания технологии полевых работ. Шаг приема называется «шаг между приборами» или «шаг сейсмографов».

В учебнике для вузов «Сейсморазведка» И.И. Гурвича (1960) [18] определено понятие системы наблюдений. Пункт приема получил наименование «точка наблюдения», шаг приема — «расстояние между сейсмоприемниками», удаление — «удаление от пункта взрыва», расстановка — «стоянка сейсмоприемников» или «участок наблюдения». Действия по расположению приемников на профиле называются расстановкой. Шаг возбуждения называется «расстоянием между пунктами взрыва» или «взрывным интервалом». Упомянуты выносные пункты возбуждения. Термин «сейсмограф» в учебнике упоминается как *механическая составляющая сейсмоприемника*.

В учебном пособии А.А. Огильви (1962) [36] упоминается о неправильности обозначения сейсмоприемников термином «сейсмограф». Удаление названо «расстоянием между точками возникновения и наблюдения волны». Пункт приема назван «точкой регистрации упругих колебаний», шаг приема — «расстояние (интервал) между сейсмоприемниками». Термин «система наблюдений» в учебнике не используется, но его дефиниция (определение) встречается. Расстановка названа «установкой», удаление — «расстоянием от точки упругого сотрясения до точки стояния сейсмографа», шаг приема — «интервалом между сейсмографами».

Во втором издании учебника для техникумов И.И. Гурвича (1964) [20] шаг приема называется «расстояние между сейсмоприемниками», пункт возбуждения — «пункт взрыва», пункт приема — «пункт сейсмоприемника», расстановка — «стоянка», длина расстановки — «длина стоянки», шаг возбуждения — «взрывной интервал», центральная симметричная расстановка — «центральная стоянка», фланговые расстановки — «примыкающие стоянки».

В справочнике геофизика «Сейсморазведка» (1966) [50] под редакцией В.П. Номоконова и И.И. Гурвича удаление именуется «расстояние взрыв-прибор», расстановка — «стоянка», используются термины «пункт приема» и «пункт возбуждения». Шаг приема назван «шагом расстановки сейсмоприемников» или «расстоянием между соседними приемниками (центрами групп)», длина расстановки — «длиной базы или стоянки сейсмоприемников», схема наблюдений — «установкой». Впервые предпринята попытка классифицировать способы работы со стоянками — одно-,

двух- и многоточечные, по числу пунктов возбуждения на одну стоянку.

В учебнике «Геофизические методы разведки» К.П. Соколова (1966) [47] определяются опорные термины «сейсмоприемник» и «система наблюдений», шаг приема назван «расстояние между сейсмоприемниками», пункт возбуждения — «точка взрыва». Во втором издании вузовского учебника «Сейсморазведка» И.И. Гурвича (1970) [19] используется термин «пункт возбуждения» (иногда «пункт взрыва»), пункт приема именуется «точка наблюдений», расстановка — «стоянка», длина расстановки — «длина стоянки», шаг приема — «расстояние между сейсмоприемниками», удаление — «расстояние от точки приема до источника», «удаление от пункта взрыва».

В монографии В.И. Мешбея (1973) [34] опорный термин «пункт приема» назван «пункт (точка) приема», пункт возбуждения — «пункт (точка, пикет) взрыва», удаление — «расстояние между точками взрыва и приема», «база взрыв-прием», шаг приема — «расстояние между каналами», шаг возбуждения — «расстояние между источниками», «расстояние между пунктами взрыва», расстановка — «сейсмоприемники, расставленные на участке профиля», сам участок называется «база приема».

В третьем издании учебника «Сейсморазведка» для техникумов 1975 г. И.И. Гурвича [21] пункт возбуждения — «пункт взрыва», пункт приема — «сейсмоприемник», шаг приема — «расстояние между приемниками», удаление — «расстояние от пункта взрыва до сейсмоприемника», расстановка — «стоянка сейсмоприемников», длина расстановки — «длина стоянки», количество пунктов приема расстановки — «число каналов станции», шаг приема — «расстояние между соседними приемниками», шаг возбуждения — «взрывной интервал» и «длина взрывного интервала», максимальное удаление расстановки — «длина годографа», длина расстановки — «длина стоянки». При описании систем многократного перекрытия упоминаются «центральные» и «фланговые» системы. Фланговые подразделяются на «примыкающие к источнику» и «с выносным источником», приводится описание системы наблюдения на основе двух встречных фланговых систем.

В учебном пособии Б.К. Кунщикова и М.К. Кунщиковой «Общий курс геофизических методов» (1972) [32] задействованы термины: пункт возбуждения — «пункт взрыва», расстановка — «стоянка сейсмоприемников», количество пунктов приема расстановки — «число каналов станции»,

длина расстановки — «длина стоянки», шаг приема — «расстояние между соседними сейсмоприемниками», удаление — «расстояние между пунктом взрыва и сейсмоприемником», максимальное удаление расстановки — «длина годографа», шаг возбуждения — «взрывной интервал», центральные и фланговые системы наблюдений, фланговые системы с выносным источником.

В третьем издании вузовского учебника «Сейсморазведка» И.И. Гурвича и Г.Н. Боганика (1980) [22] используются термины: сейсмоприемник, расстановка; пункт возбуждения — «точка возбуждения», пункт приема — «точка приема», шаг приема — «расстояние между точками приема» или «шаг», шаг возбуждения — «взрывной интервал», удаление — «дистанция». Рассмотрены «фланговая», «центральная» и «выносная» системы наблюдений.

В справочнике геофизика 1981 г. [43] используется следующая терминологическая база: пункт возбуждения — «пункт взрыва», расстановка — «расстановка (стоянка) приемников», длина расстановки — «длина годографа (база приема)», удаление — «дистанция», шаг возбуждения — «взрывной интервал». Термины «пункт приема», «система наблюдений», «шаг приема», «вынос» аналогичны опорной базе по смыслу и именованию. Выделены типы систем наблюдения МОГТ: «центральная», «фланговая односторонняя без выноса», «фланговая с выносом», «фланговая двухсторонняя (встречная) с выносом и без выноса», «с изменяющимся пунктом возбуждения в пределах базы приема».

В учебнике В.В. Знаменского и соавторов «Геофизические методы разведки и исследования скважин» (1981) [25] использовались термины: пункт возбуждения, пункт приема — «точка приема», расстановка — «база приема», шаг возбуждения — «взрывной интервал», количество пунктов приема расстановки — «число каналов сеймостанции», шаг приема — «расстояние между соседними приемниками на профиле». Выделены центральные и фланговые расстановки (системы), выносные расстановки отнесены к фланговым. Термин «расстановка» относится не к участку профиля, а к множеству приемников.

В монографии Аки и Ричардса (1983) [2] термин «сейсмограф» закрепляется за устройством, *записывающим смещения* почвы, а сейсмоприемники названы «сейсмометрами». В монографии Дора [23] используются термины сейсмоприемник — «сейсмограф», удаление — «расстояние от сейсмографа до источника», пункт возбуждения — «пункт

взрыва», система наблюдений — «схема наблюдений», расстановка.

В переводном издании Шериффа и Гелдарта (1987) [52] применяется термин пункт возбуждения — «пункт взрыва», а понятие «удаление» используется в том же смысле, что и в опорной базе. В работе введено оригинальное определение расстановки, в него входит не только структура расположения приемников, но и относительное расположение источника. Расстановки здесь подразделяются на симметричные, фланговые и выносные.

В книге О.А. Потапова «Технология полевых сейсморазведочных работ» (1987) [37] упоминаются и раскрываются термины: вынос, пункт возбуждения — «пункт взрыва (возбуждения)», шаг приема — «шаг профильной расстановки», расстановка — «база наблюдения» или «расстановка», шаг возбуждения — «взрывной интервал (расстояние между пунктами взрыва)», шаг приема — «расстояние между сейсморегистрирующими каналами», пункт приема — «пункт наблюдений», «виды систем наблюдений» — фланговая, встречная и центральная, с выносным пунктом взрыва; удаление — «расстояние возбуждение — прием», «расстояние наблюдений от пункта взрыва», «расстояние пункт взрыва — пункт приема», «расстояние взрыв—прибор»; длина расстановки — «длина годографа».

В словаре терминов разведочной геофизики (1989) [46] определены понятия: система наблюдений, сейсмоприемник, шаг приема — «шаг сейсмоприемников», пункт возбуждения — «пункт взрыва» или «пикет источника», приводятся определения терминов «фланговая расстановка», «фланговая расстановка с выносом», «центральная расстановка», отдельно упоминается «стоянка».

В книге «Метод преломленных волн» (1990) [33] используется база терминов, основанная на понятиях: вынос, расстановка, длина расстановки, пункт (точка) возбуждения, шаг возбуждения — «расстояние между точками возбуждения колебаний на продольном профиле», «интервал между пунктами возбуждения»; шаг приема — «интервал между точками приема колебаний», «шаг между сейсмоприемниками», удаление — «расстояние до пункта возбуждения». Выделены встречные и нагоняющие системы наблюдений.

В справочнике геофизика (1990) [44] применяются термины: система наблюдений, вынос, шаг приема, расстановка — «стоянка (расстановка) пунктов приема (сейсмоприемников)»,

«база наблюдений», «участок наблюдений»; длина расстановки — «длина базы приема», пункт возбуждения — «пункт взрыва», шаг возбуждения — «интервал возбуждения (взрывной интервал)», удаление — «удаление (дистанция)», количество пунктов приема расстановки — «число приемных каналов», «число каналов в расстановке». Выделены следующие виды систем наблюдений: «центральные», «с изменяющимся пунктом в пределах базы приема», «фланговые односторонние», «фланговые двусторонние», «фланговые системы с выносом и без выноса пункта взрыва».

В государственном стандарте «ГОСТ 16821-91. Сейсморазведка. Термины и определения» [16] рассмотрены следующие термины: сейсмоприемник, система наблюдений (недопустимый термин-синоним — схема наблюдений), пункт возбуждения (недопустимый термин-синоним — точка возбуждения), шаг возбуждения — «шаг источников (сейсмических колебаний)», пункт приема (недопустимый термин-синоним — точка приема), шаг приема — «шаг сейсмоприемников», расстановка сейсмоприемников, вынос. Расстановки разделены на центральные и фланговые, в определение фланговой расстановки входят и выносные расстановки. В ГОСТ нет определения удаления, но при описании термина «годограф» упомянуто «расстояние между пунктами возбуждения и приема», также нет понятия «схема наблюдений». В определении расстановки сказано, что она предназначена для «регистрации сейсмических сигналов от одного или нескольких пунктов возбуждения».

В учебном пособии В.И. Бондарева «Сейсморазведка МОГТ» (1996) [6] используются определения: пункт возбуждения, вынос — «вынос (офсет)», расстановка — «база приема», пункт возбуждения — «точка взрыва», пункт приема — «точка приема», удаление — «удаление от ПВ», шаг возбуждения — «интервал возбуждения», шаг приема — «шаг наблюдений (шаг между каналами)», количество пунктов приема расстановки — «канальность регистрирующей станции». В пособии перечислены типы систем наблюдений: фланговые, фланговые с выносом, встречные, встречные с выносом, центральные, комбинированные. При описании методики трехмерной сейсморазведки упомянут термин «прямая линия, соединяющая пару источник-приемник» и азимут этой прямой.

В монографии Н.Н. Пузырева (1997) [39] база терминов строится на следующих понятиях: пункт возбуждения — «точка возбуждения»

или «пункт взрыва», сейсмоприемник — «сейсмограф», расстановка — «установка сейсмографов», шаг приема — «интервал между сейсмографами» или «расстояние между приемниками», шаг возбуждения — «расстояние между источниками», удаление — «удаление источник-приемник». Расстановки («системы наблюдений») подразделяются на фланговые и «симметричные (двухфланговые)», схема наблюдений названа «системой».

В книге Притчетта «Получение надежных данных сейсморазведки» (1999) [38] встречаются термины: вынос, пункт возбуждения, пункт приема — «точка (пункт) приема», шаг приема — «интервал между группами», удаление — «удаление от источника». Расстановка понимается автором как сейсмическая коса с подключенными к ней сейсмоприемниками, рассматриваются односторонние (фланговые) системы наблюдений и симметричные расстановки.

В диссертации «Fundamentals of 3-D seismic survey design» авторов Gijs и Vermeer (2001) [54] встречаются определения: источник — «shot», сейсмоприемник — «receiver», расстановка — «receiver spread», удаление — «shot to receiver offset» (по смыслу — приращение координат, а не расстояние). Упоминаются термины «pair shot-receiver» — пара источник — приемник, «receiver line» — приемная линия, «path» — приемники на площади.

В учебном пособии В.И. Бондарева (2003) [7] применяются термины: пункт возбуждения — «точка (пункт) взрыва (возбуждения)», пункт приема — «точка приема», удаление — «расстояние источник-приемник», схема наблюдений — «схема возбуждения и регистрации», расстановка — «база приема (наблюдений)», система наблюдений, шаг приема — «интервал наблюдений (Receiver Interval)», шаг возбуждения — «интервал возбуждения (Source Interval)», вынос («офсет»), «линия пунктов приема», шаг приема — «шаг между каналами». В определении расстановки («базы наблюдений») упоминается, что она используется при записи сейсмических волн от одного пункта возбуждения. Выделены виды систем наблюдений: фланговые, фланговые с выносом, встречные фланговые, встречные фланговые с выносом, центральные: симметричные и асимметричные.

В учебном пособии В.Г. Гайнанова (2006) [13] используются термины: пункт возбуждения, пункт приема, шаг приема — «шаг наблюдений», расстановка (иногда стоянка). В пособии используется термин «интервал наблюдений», определяемый как «взрывной интервал».

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

В вузовском учебнике И.И. Гурвича и Г.Н. Боганика (2006) [5] вводится термин *индексация системы наблюдений*, в которую входит понятие *компонентности*. Схема наблюдений является в данной терминологии описанием компонентности систем наблюдений. Также упоминается оригинальный термин «база наблюдений», содержание которого совпадает с термином «spread (расстановка)» Шериффа и Гелдарта [52]. В базу наблюдений входит один или несколько пунктов возбуждения и расстановка приемников. В учебнике также используются термины: пункт приема, пункт возбуждения, удаление — «дистанция (удаление)», шаг приема — «шаг (интервал) пунктов приема», «шаг каналов расстановки»; шаг возбуждения — «шаг базы», длина расстановки, количество пунктов приема в расстановке, длина расстановки, «относительное удаление источника от центра расстановки». Расстановки подразделяются на «симметричные», «фланговые» и «удаленные», упоминаются встречные системы наблюдений. Для трехмерной сейсморазведки определено понятие величины (модуля) дистанции — расстояния между пунктами приема и возбуждения.

В учебном пособии Ю.Н. Воскресенского «Построение сейсмических изображений» (2006) [10] определены термины: пункт возбуждения — «пункт (точка) возбуждения», удаление, пункт приема — «пункт (точка) приема». Удаление определяется как разность координат пунктов приема и возбуждения.

В учебнике В.И. Бондарева «Сейсморазведка» (2007) [8] используются термины: вынос — «офсет»; пункт возбуждения — «пункт возбуждения (взрыва)», удаление — «удаление пункта приема колебаний от пункта возбуждения упругих волн», шаг возбуждения — «интервал возбуждения», шаг приема — «шаг наблюдений». В учебнике выделены виды систем наблюдений: фланговые, встречные фланговые и комбинированные. Понятие схемы наблюдений обозначено термином «схема возбуждения и регистрации», но на ряде иллюстраций она названа словом «установка». Расстановка называется «базой наблюдения» и «базой приема», теми же словами обозначена ее длина.

В учебном пособии М.Б. Шнеерсона (2009) [53] задействованы термины: пункт возбуждения, система наблюдений, пункт приема, «линия пунктов приема», «линия пунктов возбуждения», расстановка — «база наблюдений», шаг приема — «шаг наблюдений», «расстояние между пунктами приема», шаг возбуждения — «расстояние между

пунктами возбуждения». В тексте пособия описан термин трехмерной сейсморазведки «шаблон (template)» — «область приема (path)» плюс все пункты возбуждения.

В учебнике Ю.Н. Воскресенского «Полевая геофизика» (2010) [11] приводятся термины: пункт возбуждения, пункт приема, расстановка, длина расстановки, шаг приема — «шаг пунктов приема в расстановке», шаг возбуждения — «шаг пунктов возбуждения», вынос, удаление, число пунктов приема расстановки. Рассмотрены центральные (симметричные и асимметричные), фланговые (без выноса и с ним) и встречные фланговые (без выноса и с ним) системы наблюдений. В учебнике сказано, что удаление является расстоянием между пунктами возбуждения и приема, что не совсем верно. Также формулировано важное определение: «*расстановка и фиксированный относительно нее пункт возбуждения, рассматриваемое как единое целое*».

В учебнике В.К. Хмелевского и В.И. Костицына (2010) «Основы геофизических методов» [51] применяется следующая терминологическая база: сейсмоприемники («геофоны»), пункт возбуждения — «пункт взрыва», шаг возбуждения — «взрывной интервал», шаг приема — «расстояние между приемниками». Выделены центральные и фланговые расстановки.

В ГОСТ Р 54363-2011 «Полевые геофизические исследования. Термины и определения» (2011) [17] используются термины: система наблюдений (acquisition geometry) (нерекомендуемый термин-синоним — «схема наблюдений», свойством системы является *компонентность*), пункт возбуждения, пункт приема, сейсмическая расстановка (spread). В ГОСТ отсутствует ряд важных терминов, в термине «сейсмическая расстановка» прилагательное «сейсмическая» явно избыточно. Расстановки подразделяются на виды: симметричные (symmetrical split spread), фланговые (end-on, off-end spread) и встречные фланговые (reversed spread) расстановки. Выносные расстановки объединены с фланговыми. Упомянуты без определения комбинированные расстановки. В определении расстановки сказано, что это «совокупность пунктов приема, в которых одновременно записывают сейсмические сигналы от одного или нескольких пунктов возбуждения», что может быть неправильно понято как запись сейсмограммы одновременно с множества источников, а не одновременная запись всеми приемниками.

В учебном пособии А.П. Ермакова «Введение в сейсморазведку» (2012) [24] применяется

перечень терминов: «пункт возбуждения», «пункт приема», «удаление», «дистанция (офсет)»; «шаг пунктов приема», «шаг наблюдений», «шаг между пунктами приема», «выносные пункты возбуждения», «база наблюдений», «расстановка (приемная линия)», «длина расстановки», «шаг между пунктами возбуждения».

В учебном пособии Г.И. Резяпова «Сейсморазведка» (2012) [40] используются термины: система наблюдений, расстановка — «линия пунктов приема», «база приема», «база наблюдений»; пункт возбуждения, удаление — «удаление пункта приема от пункта возбуждения волн», шаг возбуждения — «интервал возбуждения», шаг приема — «шаг наблюдений», «шаг между каналами», вынос — «вынос (офсет)». Выделены типы систем наблюдения: фланговые (включая выносные), встречные фланговые (включая выносные), центральные (симметричные и асимметричные).

В учебном пособии Г.А. Карапетова и А.В. Белосова «Практикум по геометрической сейсмике» (2015) [28] применяются термины: «геометрия системы наблюдений», «приемная система», «пункт приема», «пункт взрыва», «активная расстановка» — совокупность всех приемников, принимающих одновременно сигнал от источника, «шаг приема», «шаг пунктов взрыва», «удаление». Расстановки подразделяются на односторонние (фланговые) и центральные (симметричные и асимметричные).

Анализ и обсуждение развития терминологической базы

Рассматривая историю развития терминологии в области методики двумерных сейсморазведочных работ, можно выделить три этапа. В **первый период (30—50-е годы XX века)** специальный язык сейсморазведки находился в стадии зарождения, был неустоявшимся, содержал большое количество многословных терминов-синонимов. Зачастую, даже в публикациях одного автора, для описания одного понятия использовались разные термины. К сожалению, эта тенденция частично сохраняется по сей день.

Большинство терминов этого этапа в настоящее время устарело. Это термины: «сейсмограф», «прибор», «место», «взрыв» в понимании любых сейсмических источников, «установка» или «перестановка» при обозначении расстановки, «сейсмические инструменты». Примечательно, что термин «стоянка» первоначально означал место установки одного сейсмографа. Единого термина или стандартного определения

для такого важнейшего понятия, как удаление, не существовало. Не было единых терминов для величин, имеющих смысл расстояния между однотипными элементами — шага приема и возбуждения. Классификация видов расстановок не была разработана.

Второй период развития (60-е — начало 90-х годов XX века) ознаменовался выходом шести официальных учебников для вузов и техникумов И.И. Гурвича, а также трех «Справочников геофизика». Изданы неплохие переводные учебники зарубежных авторов, в первую очередь Шериффа и Гелдарта [52]. Активно внедряются высокотехнологические методики: многократное перекрытие и трехмерная сейсморазведка, невзрывные источники сейсмических волн. Появляется устойчивый термин «система наблюдений». Термин «сейсмограф» вытесняется понятием «сейсмоприемник». В отличие от механических сейсмографов — приборов, которые выводили измеренную информацию в доступной для непосредственного восприятия форме — на фотобумагу или экран осциллографа, сейсмоприемники уже относятся к категории измерительных преобразователей. Активно используется термин «пункт» параллельно с синонимом «точка», внедряются различные классификации расстановок (стоянок). Появляется и внедряется термин «шаг», означающий расстояние между однородными элементами в группе. Кроме него используется менее удачный многозначный термин «база», означающий как отрезок, соединяющий два приемных элемента, так и расстояние между ними. Термин «интервал» также многозначен, он может означать расстояние между чем-либо или отношение, отрезок. Путаница возникала при различном понимании расстановки (стоянки) — как отрезка профиля, так и косы с сейсмоприемниками. Второе определение менее удачно, так как для обслуживания расстановки могли быть использованы не все каналы станции или одна расстановка обрабатывалась несколькими косами.

Появляется универсальный термин «пункт возбуждения», означающий позицию источника произвольного типа — взрывного и невзрывного. В третьем издании вузовского учебника «Сейсморазведка» [22] впервые представлен удобный термин «дистанция» — расстояние между пунктами приема и возбуждения, однако он редко применяется на практике, вытесненный термином «удаление». Закономерным итогом второго этапа стал стандарт [16], где были определены все термины опорной базы, кроме удаления.

Третий период (90-е годы XX века — 00-е и 10-е годы XXI века) представляется наиболее противоречивым. С одной стороны, количество информации по дисциплине «Сейсморазведка» значительно увеличилось, даже в не самом полном изложении объем актуального учебника оценивается в несколько тысяч страниц. Seriously шагнули вперед технологии объемной сейсморазведки, обработки и интерпретации данных. После некоторого простоя в 1990-е годы, когда новые учебники практически не издавались, с началом нового столетия они выходят регулярно.

Но, к великому сожалению, унифицированные термины в области методики двумерной сейсморазведки, закрепленные в [16, 17], даже в учебниках и других нормативах используются нечасто. Наблюдается тенденция возврата от кратких терминов к многословным конструкциям и терминам-определениям («удаление» — «расстояние взрыв-прибор»), от актуальных к устаревшим («сейсмоприемник» — «сейсмограф», «пункт» — «точка»), от однозначных терминов к многозначным («шаг» — «база» или «интервал», «прием» — «наблюдение»), от правильных к неверным («схема наблюдений» — «система наблюдений»). В научных публикациях и учебных изданиях зачастую применяются калькированные термины из зарубежной литературы («офсет» — offset, «пикировка» — picking, «темплейт» — template) или привычная, но устаревшая терминология, а также неверные «авторские термины», означающие давно известные понятия. Такая ситуация характерна не только для трудов начинающих специалистов, которые могли использовать устаревшую литературу, содержащуюся в свободном доступе в интернете, но и их старших коллег. Другая возможная причина — это профессиональный язык (жаргон): «приборы» или «морковки» — сейсмоприемники, «паук» — группа сейсмоприемников, «булавка» — приспособление для переноски приемников группы, «индюк» — контроль идентичности характеристик приемников и т. д. Кроме того, у опытных специалистов формируется своя привычная терминология, а прочие термины (как устаревшие, так и новые) воспринимаются как «неправильные». Свое мировоззрение передают новым поколениями преподаватели вузов и техникумов, наставники на производстве.

В источниках недавнего времени (кроме уже упомянутых выше) встречены термины «расстановка сейсмографов» [30], «стоянка сейсмоприемников» [29], «удаление взрыв-прибор» [9], «сеть наблюдения» — для обозначения системы

наблюдений [31]. В «Инструкции по сейсморазведке» (2003) упомянуты «прибор» и «расстояние между ПВ и ПП». В ГОСТ Р 54363-2011 [17] терминов недостаточно, встречаются опечатки и размытые формулировки. Наиболее близкая к требованиям норматива [16] терминология содержится в учебниках [5] и [11].

Вместе с тем, по представлениям автора, некоторые возможности для усовершенствования содержатся и определениях унифицированной терминологии. В первую очередь предлагается внести изменение в определение удаления.

Удаление $\vec{l}$ (offset) — вектор, определяемый отрезком прямой линии, соединяющей пункты возбуждения и пункты приема. Длину отрезка предлагается называть **дистанцией d** (distance), а направление — **азимутом**. В двумерной сейсморазведке удаление вырождается в скалярную величину, знак которой указывает на одно из двух направлений: положительный — по возрастанию координаты пунктов профиля, отрицательный — по убыванию координаты пунктов профиля. По определению, на профиле *дистанция равна модулю удаления*, а само удаление — *разности координат пункта приема и пункта возбуждения*. В большинстве теоретических задач удаление и дистанция равны друг другу, отсюда и путаница в использовании этих понятий.

В монографии Шериффа [52] была подана идея совместить в термине «расстановка» систему из одного относительного расположения источника и множества пунктов приема. Подобная концепция более удобна при выделении видов расстановок, потому что классифицирующий признак здесь описывает внутренние особенности объекта классификации, а не других объектов. Этот подход использовался в учебнике [5] в виде термина «база наблюдений», однако на практике он не применяется. В учебнике Ю.Н. Воскресенского [11] он существует в виде дефиниции «*расстановка и фиксированный относительно нее пункт возбуждения, рассматриваемые как единое целое*». На обобщенной плоскости это один или два отрезка, на развернутом профиле — одна линия, в XPS-файле и в сменном рапорте оператора — одна запись, результат ее работы — одно физическое наблюдение. То есть этот объект уже давно существует, просто не получил имени. Отсутствие такого термина в специальном языке сейсморазведки нередко приводит к казусам. В частности, при описании встречных и комбинированных расстановок получается, что встречная *расстановка состоит* из левофланговой и правофланговой *расстановок*.

В ряде источников классификация (центральные, фланговые, выносные...) применяется не к расстановкам, а к системе наблюдений в целом. Однако и этот подход представляется неверным, так как разнообразие систем наблюдений намного больше, чем у расстановок.

Поэтому автором статьи предлагается изменить определение «**расстановка (spread)**» на формулировку «*описание конфигурации системы, состоящей из одного пункта возбуждения и связанной с ним приемной линии*». Под термином «**приемная линия (receiver line)**» понимать «*описание одновременно работающей совокупности пунктов приема*». Классификацию расстановок оставить такой же, как в опорной базе. Для описания количества пунктов в приемной линии использовать термин «**порядок расстановки**», исходя из классического определения порядка — «*количество элементов в конечной группе*». Учитывая тот факт, что одна приемная линия, расположенная на отрезке профиля, может быть использована несколько раз, при различных положениях пункта возбуждения, ввести в обиход двумерной сейсморазведки термин «шаблон». **Шаблон (template)** — «*описание конфигурации системы, состоящей из одного или нескольких пунктов возбуждения и связанной с ними приемной линии*». Число пунктов возбуждения в шаблоне предлагается назвать **порядком шаблона**.

Также предлагается выделить следующих видов шаблонов:

1) Простой — одна расстановка, вид расстановки определяет вид простого шаблона (пример — левофланговый шаблон без выноса), порядок шаблона — 1;

2) Встречный — две фланговые расстановки без выноса, порядок шаблона — 2;

3) Нагоняющий — фланговая и одна или несколько выносных расстановок, пункты возбуждения располагаются по одну сторону приемной линии, порядок шаблона ≥ 2 ;

4) Встречно-нагоняющий — совмещение встречного и нагоняющего шаблона, порядок ≥ 4 ;

5) Комбинированный — сочетание нескольких видов шаблонов, порядок шаблона ≥ 2 .

Расстановка является простым шаблоном.

При **профилировании** шаблон после регистрации сейсмограмм от всех пунктов возбуждения перемещается вперед на расстояние, называемое «шаг шаблона». После переноса приемной линии регистрация сейсмограмм повторяется в том же порядке и с тех же удалений расстановок.

Понятия «шаг шаблона» и «шаг возбуждения» при использовании простых шаблонов (расстановок) совпадают. При профилировании приемные линии соседних шаблонов перекрываются или располагаются встык, без разрыва. При наличии разрывов между приемными линиями соседних шаблонов выполняемые работы относятся к **зондированию**.

Выводы и предложения

В результате анализа развития терминологической базы в области методики двумерной сейсморазведки предлагаются следующие рекомендации по улучшению ее состояния.

Рекомендуется:

1) отказаться от терминов «сейсмограф» и «прибор», заменяя их на термин «сейсмоприемник»;

2) отказаться от терминов «стоянка» и «установка», заменяя их на термин «приемная линия» или «расстановка» в зависимости от контекста;

3) отказаться от терминов «точка» и «место», заменяя их в многословных терминах на термин «пункт» (исключение — общая средняя точка, так как она не является пунктом профиля);

4) отказаться от терминов «интервал» и «расстояние между», «база» в многословных терминах, заменяя их на термин «шаг»;

5) отказаться от терминов «взрыв» и «удар», заменяя их в многословных терминах на более емкий и универсальный термин «возбуждение»;

6) отказаться от термина «наблюдение», заменяя его в многословных терминах на термин «прием» (исключение — система наблюдений, поскольку она описывает и возбуждение, и прием (измерение) колебаний);

7) отказаться от использования термина «канал» при описании расстановок;

8) отказаться от терминов-синонимов, определяемых как «расстояние между пунктами приема и возбуждения на профиле», заменяя их на термин «удаление» или «дистанция» в зависимости от контекста;

9) не применять термины «схема наблюдений» и «установка» для обозначения понятия «система наблюдений» и как синонимы.

Предлагается:

1) уточнить и расширить определения расстановки и удаления, как было описано выше;

2) ввести новые уточняющие термины: «приемная линия», «шаблон», «порядок (расстановки или шаблона)», а также классификацию шаблонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авербух К.Я. Общая теория термина: комплексно-вариологический подход. М.: Издательство МГОУ, 2005. 252 с.
2. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология: Теория и методы. Т. 1. Пер. с англ. М.: Мир, 1983. 520 с.
3. Базалина Е.Н. К проблеме перевода терминов научно-технических текстов // Вестник Майкопского государственного технологического университета. 2009. № 1. С. 102—107.
4. Боганик Г.Н. О нашей терминологии // Геофизика. 2004. № 1. С. 71—72.
5. Боганик Г.Н., Гурвич И.И. Сейсморазведка. Тверь: Изд-во АИС, 2006. 744 с.
6. Бондарев В.И. Сейсморазведка МОГТ: Курс лекций для бакалавров. Ч. III. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1996. 240 с.
7. Бондарев В.И. Основы сейсморазведки: Учебное пособие для вузов. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. 332 с.
8. Бондарев В.И. Сейсморазведка. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. 703 с.
9. Бондарев В.И., Крылатков С.М., Курашов И.А. Анализ компонент сейсмического волнового поля в задачах сейсморазведки // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2012. № 3. С. 146—153.
10. Воскресенский Ю.Н. Построение сейсмических изображений: Учебное пособие для вузов. М.: Изд-во РГУ нефти и газа, 2006. 116 с.
11. Воскресенский Ю.Н. Полевая геофизика: Учебник для вузов. М.: ООО «Издательский дом Недра», 2010. 479 с.
12. Воюцкий В.С. Опыт применения катодного осциллографа к измерению скорости упругих волн // Сб. статей по сейсмической разведке. Вып. 12(19) Л.: ГОНТИ НКТ СССР, 1938. С. 3—18.
13. Гайнанов В.Г. Сейсморазведка: Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2006. 149 с.
14. Гамбурцев Г.А. Основы сейсморазведки. 2-е изд. Л.: Гостоптехиздат, 1959. 467 с.
15. Гамбурцев Г.А. и др. Прикладная геофизика. Вып. 2. Сейсмометрия. Л.: ОНТИ.ГНТИ, 1934. 228 с.
16. ГОСТ 16821-91. Сейсморазведка. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1992. 29 с.
17. ГОСТ Р 54363-2011. Полевые геофизические исследования. Термины и определения. Официальное издание, М.: Стандартинформ, 2012.
18. Гурвич И.И. Сейсмическая разведка: Учебник для вузов. М.: ГНТИНГТЛ, 1960. 504 с.
19. Гурвич И.И. Сейсмическая разведка: Учебник для вузов. Изд. 2, перераб. и дополн. М.: Недра, 1970. 552 с.
20. Гурвич И.И. Сейсморазведка: Учебник для техникумов. Изд. 2, перераб. и дополн. М.: Недра, 1964. 440 с.
21. Гурвич И.И. Сейсморазведка: Учебник для техникумов. Изд. 3, перераб. и дополн. М.: Недра, 1975. 408 с.
22. Гурвич И.И., Боганик Г.Н. Сейсмическая разведка: Учебник для вузов. Изд. 3, перераб. М.: Недра, 1980. 551 с.
23. Дор Г. Введение в прикладную геофизику. М.: Недра, 1984. 237 с.
24. Епинатьева А.М., Голобушин Г.М., Литвин А.Л. и др. Метод преломленных волн / Под ред. А.М. Епинатьевой. М.: Недра, 1990. 297 с.
25. Ермаков А.П. Введение в сейсморазведку. Учебное пособие. Тверь: Изд-во ГЕРС, 2012. 160 с.
26. Знаменский В.В., Жданов М.С., Петров Л.П. Геофизические методы разведки и исследования скважин: Учебник для техникумов. М.: Недра, 1981. 320 с.
27. Зыков В.А. Роль терминологии и классификации в новой науке — техноэкогеофизике // Каротажник. 2014. № 7 (241). С. 52—69.
28. Зятиков И.А. Терминология научно-технических текстов // В сб.: Современное языковое образование: инновации, проблемы, решения. Сб. науч. тр. Отв. редактор О.А. Чекунов. М., 2015. С. 89—93.
29. Карапетов Г.А., Белоусов А.В. Практикум по геометрической сейсмике: Учебное пособие. М.: Изд. центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2015. 190 с.
30. Козлов И.С., Иванова К.И. Результаты вибродиагностики высоких насыпей при обращении инновационных составов с нагрузкой 27 тс на ось // Бюллетень результатов научных исследований. 2018. № 3. С. 39—49.
31. Колесов С.В., Жуков А.П. Свойства сигналов вибратора и их использование для изучения условий возбуждения // Технологии сейсморазведки. 2015. № 2. С. 106—112.
32. Куликова Н.В. и др. Моделирование данных сейсмотомографии и электротомографии для песчано-глинистого разреза с наличием приповерхностных скоплений газа // Мониторинг. Наука и технологии. 2020. № 2. С. 26—30.
33. Кунщикова Б.К., Кунщикова М.К. Общий курс геофизических методов разведки. М.: Недра, 1976. 429 с.
34. Мешбей В.И. Методика многократных перекрытий в сейсморазведке. М.: Недра, 1985. 264 с.
35. Нестеров Л.Я. и др. Краткий курс разведочной геофизики для геологов. М.: ГОНТИ.НТКП СССР, 1938. 376 с.
36. Огильви А.А. Геофизические методы исследований: Учебное пособие для вузов. М.: Изд-во МГУ, 1962. 411 с.
37. Потапов О.А. Технология полевых сейсморазведочных работ. М.: Недра, 1987. 309 с.
38. Притчетт У. Получение надежных данных сейсморазведки. М.: Мир, 1999. 448 с.
39. Пузырев Н.Н. Методы и объекты сейсмических исследований. Введение в общую сейсмологию. Новосибирск: СО РАН, 1997. 301 с.
40. Резяпов Г.И. Сейсморазведка: Учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 310 с.
41. Ризниченко Ю.В. О средней скорости в сейсмике отраженных волн // Сб. статей по сейсмической разведке. Вып. 19 (12). Л.: ГОНТИ НКТ СССР, 1938. С. 39—63.
42. Ризниченко Ю.В. Способ теоретических годографов для определения скоростей по наблюдениям отраженных волн. М.: Госгеолитиздат, 1949. 21 с.
43. Сейсморазведка. Справочник геофизика / Под. ред. И.И. Гурвича, В.П. Номоконова. М.: Недра, 1981. 464 с.

44. Сейсморазведка: Справочник геофизика. В 2 кн. / Под ред. В.П. Номоконова. Кн. 2. 2-е изд., перераб. и дополн. М.: Недра, 1990. 400 с.
45. Сельский В.А. Краткий курс прикладной геофизики. Л.: ОНТИ.НТКП СССР, 1938. 306 с.
46. Словарь терминов разведочной геофизики / Под ред. А.И. Богданова. М.: Недра, 1989. 183 с.
47. Соколов К.П. Геофизические методы разведки. М.: Недра, 1966. 464 с.
48. Соколов П.Т. Физические и теоретические основы сейсмического метода геологической разведки. Л.: Горгеонефтеиздат, 1933. 215 с.
49. Сорокин Л.В. и др. Курс геофизических методов разведки нефтяных месторождений. Л.: Гостоптехиздат, 1950. 467 с.
50. Справочник геофизика. Сейсморазведка. IV том / Под ред. И.И. Гурвича, В.П. Номоконова. М.: Недра, 1966. 749 с.
51. Хмелевской В.К., Костицын В.И. Основы геофизических методов: Учебник для вузов. Пермь: Пермский ун-тет, 2010. 400 с.
52. Шерифф Р., Гелдарт Л. Сейсморазведка: В 2-х т. Т. 1. М.: Мир, 1987. 448 с.
53. Шнеерсон М.Б. Методика и технология сейсморазведочных работ: Учебное пособие. М.: РГГРУ, 2009. 172 с.
54. Vermeer, Gijb J.O. Fundamentals of 3-D seismic survey design: PhD thesis, Delft University of Technology. 2001.

REFERENCES

1. Averbukh K.Ya. General theory of the term: complex-variological approach. Moscow: MGOU Publ., 2005. 252 p. (In Russian).
2. Aki K., Richards P. Quantitative seismology: Theory and methods. Vol. 1. By W.H. Freeman and Company, 1980, 520 p. (Russ. ed.: Aki K., Richards P. Kolichestvennaya seismologiya: Teoriya i metody. Vol. 1. Moscow: MIR Publ., 1983. 520 p.).
3. Bazalina E.N. On the problem of translating the terms of scientific and technical texts. Bulletin of the Maikop State Technological University 2009. No. 1. P. 102—107 (In Russian).
4. Boganik G.N. On our terminology. Geophysics. 2004. No. 1. P. 71—72 (In Russian).
5. Boganik G.N., Gurbich I.I. Seismic exploration. Tver: AIS Publ., 2006, 744 p. (In Russian).
6. Bondarev V.I. Seismic exploration of CDP: A course of lectures for bachelors. Yekaterinburg: UGGGA Publ., 2003. 240 p. (In Russian).
7. Bondarev V.I. Fundamentals of seismic exploration: Textbook for universities. Yekaterinburg: UGGGA Publ., 2003. 332 p. (In Russian).
8. Bondarev V.I. Seismic exploration. Yekaterinburg: UGGGA Publ., 2003. 332 p. (In Russian).
9. Bondarev V.I., Krylatkov S.M., Kurashov I.A. Analysis of the components of the seismic wave field in seismic exploration problems. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Mining magazine. 2012. No. 3. P. 146—153 (In Russian).
10. Voskresensky Yu.N. Construction of seismic images. Textbook for universities. Moscow: Russian State University of Oil and Gas Publ., 2006, 116 p. (In Russian).
11. Voskresensky Yu.N. Field geophysics. Textbook for high schools. Moscow: Nedra Publ., 479 p. (In Russian).
12. Voyutskii V.S. Experience in using a cathode oscilloscope to measure the velocity of elastic waves. Studies in articles on seismic exploration Iss. 12(19). Leningrad: GONTI NKT USSR, 1938. P. 3—18 (In Russian).
13. Gainanov V.G. Seismic exploration. Tutorial. Moscow: Moscow State University Publ., 2006, 479 p. (In Russian).
14. Gamburtsev G.A. Fundamentals of seismic exploration. Second edition. Leningrad: Gostoptekhizdat, 1959. 467 p. (In Russian).
15. Gamburtsev G.A., et al. Applied Geophysics. Iss. 2. Seismometry. Leningrad: ONTI.GNTI, 1934. 228 p. (In Russian).
16. GOST 16821-91. Seismic exploration. Terms and Definitions. Moscow: Publishing house of standards, 1992. 29 p. (In Russian).
17. GOST R 54363-2011. Field geophysical research. Terms and Definitions. Official publication. Moscow: Standartinform, 2012. 28 p. (In Russian).
18. Gurbich I.I. Seismic exploration: Textbook for universities. Moscow: GNTINGTL, 1960. 504 p. (In Russian).
19. Gurbich I.I. Seismic exploration. Second edition, revised and supplemented: Textbook for universities. Moscow: Nedra, 1970, 552 p. (In Russian).
20. Gurbich I.I. Seismic exploration. Second edition, revised and supplemented: Textbook for technical schools. Moscow: Nedra, 1964, 440 p. (In Russian).
21. Gurbich I.I. Seismic exploration. Third edition, revised and enlarged: Textbook for technical schools. Moscow: Nedra, 1975. 408 p. (In Russian).
22. Gurbich I.I., Boganik G.N. Seismic exploration: Textbook for universities. 3rd ed., revised. Moscow: Nedra, 1980. 551 p. (In Russian).
23. Dor G. Introduction to applied geophysics: Moscow: Nedra, 1984. 237 p. (In Russian).
24. Yepinat'yeva A.M. Method of refracted waves / Ed. A.M. Yepinat'yeva. Moscow: Nedra, 1990. 297 p. (In Russian).
25. Ermakov A.P. Introduction to seismic exploration. Tutorial. Tver: GERS Publ., 2012. 160 p. (In Russian).
26. Znamenskii V.V., Zhdanov M.S., Petrov. L.P. Geophysical methods of exploration and research of wells. Textbook for technical schools. Moscow: Nedra, 1981. 320 p. (In Russian).
27. Zykov V.A. The role of terminology and classification in a new science — technoeogeophysics. Karotazhnik. 2014. No. 7 (241). P. 52—69 (In Russian).
28. Zyatikov I.A. Terminology of scientific and technical texts. In the collection: Modern language education: innovations, problems, solutions. Collection of scientific papers. Moscow, 2015. P. 89—93 (In Russian).
29. Karapetov G.A., Belousov A.V. Workshop on geometric seismic: Textbook. Moscow: Russian State University

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

- of Oil and Gas Publ., 2015. 190 p. (In Russian).
30. Kozlov I.S., Ivanova K.I. Results of vibration diagnostics of high embankments when handling innovative compositions with a load of 27 tf per axle. Bulletin of results of scientific research. 2018. No. 3. P. 39—49 (In Russian).
 31. Kolesov S.V., Zhukov A.P. Properties of vibrator signals and their use for studying excitation conditions. Technologies of seismic exploration. 2015. No. 2. P. 106—112 (In Russian).
 32. Kulikova N.V. et al. Modeling of seismic tomography and electrotomography data for a sandy-clay section with the presence of near-surface gas accumulations. Monitoring. Science and technology. 2020. No. 2. P. 26—30 (In Russian).
 33. Kunshchikov B.K., Kunshchikova M.K. General course of geophysical exploration methods. Moscow: Nedra, 1976. 429 p. (In Russian).
 34. Meshbey V.I. Method of multiple overlaps in seismic exploration. Moscow: Nedra, 1985. 264 p. (In Russian).
 35. Nesterov L.Ya. A short course in exploration geophysics for geologists. Moscow: GONTI.NTKP USSR, 1938. 376 p. (In Russian).
 36. Ogilvi A.A. Geophysical methods of research. Textbook for universities. Moscow: MGU Publ., 1962. 411 p. (In Russian).
 37. Potapov O.A. Technology of field seismic works. Moscow: Nedra, 1987. 309 p. (In Russian).
 38. Pritchett W. Obtaining reliable seismic data. Moscow: Mir, 1999. 448 p. (In Russian).
 39. Puzyrev N.N. Methods and objects of seismic research. Introduction to General Seismology. Novosibirsk: SO RAN, 1997. 301 p. (In Russian).
 40. Rezyapov G.I. Seismic exploration: textbook. Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publ., 2012. 310 p. (In Russian).
 41. Ryzhichenko Yu.V. On the average velocity in the seismic of reflected waves. Studies in articles on seismic exploration Iss. 12(19). Leningrad: GONTI NKT USSR, 1938. P. 39—63 (In Russian).
 42. Ryzhichenko Yu.V. The method of theoretical hodographs for determining velocities from observations of reflected waves. Moscow: Gosgeolizdat, 1949. 21 p. (In Russian).
 43. Seismic exploration. Handbook of geophysics / Ed. I.I. Gurvich, V.P. Nomokonov. Moscow: Nedra, 1981. 464 p. (In Russian).
 44. Seismic exploration. Handbook of geophysics / Ed. V.P. Nomokonov. Moscow: Nedra, 1990. 400 p. (In Russian).
 45. Selsky V.A. Short course of applied geophysics. Leningrad: ONTI.NTKP USSR, 1938. 306 p. (In Russian).
 46. Dictionary of terms of prospecting geophysics / Ed. A.I. Bogdanov. Moscow: Nedra, 1989. 183 p. (In Russian).
 47. Sokolov K.P. Geophysical methods of exploration. Moscow: Nedra, 1990. 400 p. (In Russian).
 48. Sokolov P.T. Physical and theoretical foundations of the seismic method of geological exploration. Leningrad: Gorgeonefteizdat, 1933. 215 p. (In Russian).
 49. Sorokin L.V., et al. Course of geophysical methods of exploration of oil fields. Leningrad: Gostoptekhizdat, 1950. 467 p. (In Russian).
 50. Seismic exploration. Handbook of geophysics. Vol. IV / Ed. I.I. Gurvich, V.P. Nomokonov. Moscow: Nedra, 1966. 749 p. (In Russian).
 51. Khmelevskoy V.K., Kostitsyn V.I. Fundamentals of geophysical methods: a textbook for universities. Perm: Perm University, 2010. 400 p. (In Russian).
 52. Sheriff R., Geldart L. Seismic exploration: In 2 vols. V. 1. Moscow: Mir, 1987. 448 p. (In Russian).
 53. Shneerson M.B. Methods and technology of seismic surveys. Tutorial. Moscow: RGGRU, 2009. 172 p. (In Russian).
 54. Vermeer, Gijs J.O. Fundamentals of 3-D seismic survey design: PhD thesis, Delft University of Technology. 2001.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Романов В.В. — собрал литературный материал для статьи, разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Viktor V. Romanov — contributed to studies literary materials, developed the conception of article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Романов Виктор Валерьевич — кандидат технических наук, доцент кафедры геофизики ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
E-mail: romanovvv@mgri.ru
SPIN-код: 6120-2838
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1738-6619>

Viktor V. Romanov — Cand. of Sci. (Tech.), docent, assistant professor of the Department “Geophysics” Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
E-mail: romanovvv@mgri.ru
SPIN-code: 6120-2838
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1738-6619>



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-75-87>
УДК 551.248.2



НЕОТЕКТОНИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ И СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА РАЙОНА СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ р. ДОН (ТЕРРИТОРИЯ НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС)

В.М. МАКЕЕВ^{1,*}, Е.А. ПИКУЛИК¹, А.С. ГУСЕЛЬЦЕВ²

¹ ФГБУН «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН»
13, стр. 2, Уланский пер., а/я 145, Москва, 140005, Россия

² ФБУ «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности»
2/8, к. 5, ул. Малая Красносельская, Москва, 107140, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В районе среднего течения р. Дон проведены структурно-геодинамические исследования.

Цель. Выявление и оценка неотектонических структур, определение геодинамических условий их формирования и анализ интенсивных экзогенных геологических процессов в связи с необходимостью обеспечения безопасности расположенной в этом районе крупнейшей в центральной части Восточно-Европейской платформы Нововоронежской АЭС.

Материалы и методы. Согласно концепции глубинных геодинамических систем исследованы литологические, структурно-геоморфологические и неотектонические условия территории. Фактическим материалом для исследований являлись полевые наблюдения и публикации с учетом данных геологических съемок.

Результаты. В результате выявлены разнотипные по происхождению поднятия и прогибы, геодинамически активные зоны и линеаменты. Формирование структур связывается с глубинными (внутрикоровыми) напряжениями сжатия и растяжения, под влиянием которых активизируются негативные для территории атомной станции тектоно-гравитационные и суффозионно-карстовые процессы. Из древних докембрийских разломов кристаллического фундамента активными являются широтный Судженско-Икорецкий и субмеридиональный Семилуки-Липецкий. Последний рассматривается в качестве геодинамически активной зоны. На площадке АЭС и в ее окрестностях выявлены зоны повышенной трещиноватости и проницаемости, которые согласуются с погребенными формами рельефа — палеорулами Дона и его притоков. Установлено, что они глубоко врезаются в карбонатные породы мелового и девонского возраста, что является причиной для активизации выщелачивания этих пород и выноса мелких частиц из флювиогляциальных толщ. Одним из результатов исследований стала количественная оценка суммарных и поэтапных амплитуд и скоростей неотектонических движений.

Заключение. Территория Нововоронежской АЭС является геодинамически спокойной, скорости движений (как расчетные, так и по данным инструментальных измерений) являются относительно невысокими, однако они активизируют экзогенные процессы, которые уже в свою очередь негативно влияют на устойчивость площадки НВ АЭС.

Ключевые слова: структурно-геоморфологические условия, литология, неотектоника, геодинамика, экзогенные процессы, безопасность атомных электростанций

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: статья подготовлена в рамках выполнения госзадания по теме «Прогноз, моделирование и мониторинг эндогенных и экзогенных геологических процессов для снижения уровня их негативных последствий».

Для цитирования: Макеев В.М., Пикулик Е.А., Гусельцев А.С. Неотектонические структуры и современная геодинамика района среднего течения р. Дон (территория Нововоронежской АЭС). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(1):75—87. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-75-87>

Статья поступила в редакцию 18.04.2022
Принята к публикации 15.06.2022
Опубликована 22.06.2022

* Автор, ответственный за переписку

NEOTECTONIC STRUCTURES AND MODERN GEODYNAMICS OF THE MIDDLE FLOW REGION OF THE DON RIVER (THE TERRITORY OF THE NOVovorONEZH NUCLEAR POWER PLANT)

VLADIMIR M. MAKEEV^{1,*}, ELENA A. PICULIK¹, ALEXANDER S. GUSELTSEV²

¹ *Sergeev Institute of Environmental Geoscience of RAS
13, c. 2, Ulansky lane, Moscow, 140005, Russia*

² *Scientific and technical center for nuclear and radiation safety
2/8, c. 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow, 107140, Russia*

ABSTRACT

Background. Structural and geodynamic studies are conducted in the region of the middle flow of the Don river.

Aim. An identification and evaluation of neotectonic structures, determination of geodynamic conditions for their formation and an analysis of intensive exogenous geological processes in connection with the need to ensure the safety of the Novovoronezh nuclear power plant (NPP) located in this area, the largest in the central part of the Eastern European platform.

Materials and methods. According to the concept of deep geodynamic systems, the lithological, structural-geomorphological and neotectonic conditions of the territory were studied. Field observations and publications based on geological survey data were the factual material for the studies.

Results. Various types of uplifts and troughs, geodynamically active zones and lineaments were identified. The formation of structures is associated with deep (intracortical) stresses of compression and tension, under the influence of which the tectonic-gravity and suffosion-karst processes negative for the territory of the nuclear power plant are activated. Among the ancient Precambrian faults of the crystalline basement, the latitudinal Sudzhen-Ikorets and submeridional Semiluki-Lipetsky faults are active. The latter is considered as a geodynamically active zone. At the NPP site and in its vicinity, the zones of increased fracturing and permeability were identified, which is consistent with the buried forms of the relief — paleo-reliefs of the Don river and its tributaries. These zones are found to be deeply embedded in the Cretaceous and Devonian carbonate rocks, which is the reason for the increased leaching of these rocks and the removal of fine particles from the fluvioglacial strata. A quantitative assessment of summary and step-by-step amplitudes and speeds of neotectonic movements was carried out.

Conclusion. The territory of the Novovoronezh NPP is geodynamically calm, the movement speeds (both calculated and according to instrumental measurements) are relatively low; however, these movements activate exogenous processes, which in turn negatively affect the stability of the Novovoronezh NPP site.

Keywords: structural-geomorphological conditions, lithology, neotectonics, and geodynamics, exogenous processes, safety of nuclear power plants

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: the article was prepared as part of the state office on the “Forecast, modeling and monitoring of endogenous and exogenous geological processes to reduce their negative consequences.”

For citation: Makeev V.M., Piculik E.A., Guseltsev A.S. Neotectonic structures and modern geodynamics of the middle flow region of the Don river (the territory of the Novovoronezh nuclear power plant). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(1):75—87. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-75-87>

*Manuscript received 18 April 2022**Accepted 15 June 2022**Published 22 June 2022*

* Corresponding author

Устойчивый интерес к району Среднего Дона связан с расположением его в широкой зоне сопряжения двух крупных новейших структур: Среднерусского (Воронежского) поднятия и Окско-Донского прогиба [8, 10, 15]. Здесь возведена одна из крупнейших в центральной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП) экологически опасная Нововоронежская АЭС (НВ АЭС). К сопряжению этих структур приурочена р. Дон с отчетливо выраженным правобережным эрозионным уступом, сформированным вследствие постоянного смещения реки в сторону Средне-Русской возвышенности по правилу Бэра — Бабине. Новейшие структуры с разным направлением движений формируются в пределах древней структуры, относящейся к Воронежской девонской антеклизе ВЕП.

Среднерусское поднятие является устойчиво развивающимся на протяжении всего неотектонического этапа: с конца олигоцена — начала миоцена и поныне. По форме оно наследует положительную Воронежскую антеклизу. Окско-Донской прогиб, напротив, заложен дискордантно на древней антеклизе. По этой причине часть исследователей рассматривает прогиб в качестве внутрикорового активного центра (очага) повышенных напряжений и деформаций [8, 9]. Другая часть исследователей связывает его заложение и развитие с латеральными напряжениями сжатия, наведенными с юга со стороны Аравийской литосферной плиты и поднятия Кавказа ([7] и др.). Таким образом, причины и механизмы формирования внутриплатформенных структур, удаленных от перикратонных опусканий фундамента ВЕП, до сих пор остаются актуальными.

НВ АЭС с семью энергоблоками, два из которых были запущены в 2017—2019 гг., расположена на левобережье р. Дон в 45 км южнее Воронежа (рис. 1). В зависимости от концепции происхождения новейших структур оценить безопасность станции можно по-разному: она может быть либо заниженной, либо переоцененной. В первом случае это небезопасно для густонаселенного равнинного региона, во втором — приведет к необоснованно большим затратам на изыскания при строительстве энергоблоков. Если источник напряжений находится в пределах прогиба, то следует пред-

полагать повышенную активность неотектонических структур, включая разломы и сейсмичность, по сравнению с активностью, вызванную источником напряжений, находящимся за несколько тысяч километров. Неотектонические движения часто сопровождаются интенсивными экзогенными процессами [14, 15, 16], которые нарушают устойчивость территорий, в том числе расположения крупных инженерных объектов [13].

Целью данного исследования является выявление и оценка неотектонических структур, определение геодинамических условий их формирования и анализ интенсивных экзогенных геологических процессов в связи с необходимостью обеспечения безопасности расположенной в этом районе крупнейшей в центральной части Восточно-Европейской платформы Нововоронежской АЭС.

В задачи исследования входит определение суммарных и постадийных амплитуд и скоростей неотектонических движений, а также изучение и оценка влияния экзогенных процессов на устойчивость площадки НВ АЭС.

Методика исследований и фактический материал

В работе применялись структурно-геоморфологический, неотектонический и структурно-геодинамический методы. Фактическим материалом для исследований являлись полевые наблюдения и публикации с учетом данных геологических съемок [2, 3]. Уточнение строения кристаллического фундамента и осадочного чехла производилось на основе фондовых отчетов по буровым, геофизическим, инженерно-геологическим и другим работам, выполненным в связи с проектированием и доизучением НВ АЭС. С учетом буровых скважин и описания обнажений производились построения структурно-геоморфологических профилей, выделение денудационных ступеней (поверхностей) и их корреляция с однородными отложениями. Ступенчатость геоморфологических поверхностей рассматривалась как проявление неотектонических поднятий, аккумуляция отложений — как проявление опусканий. Для выявления активности древних разломов, локализованных в кристаллическом фундаменте, было выполнено

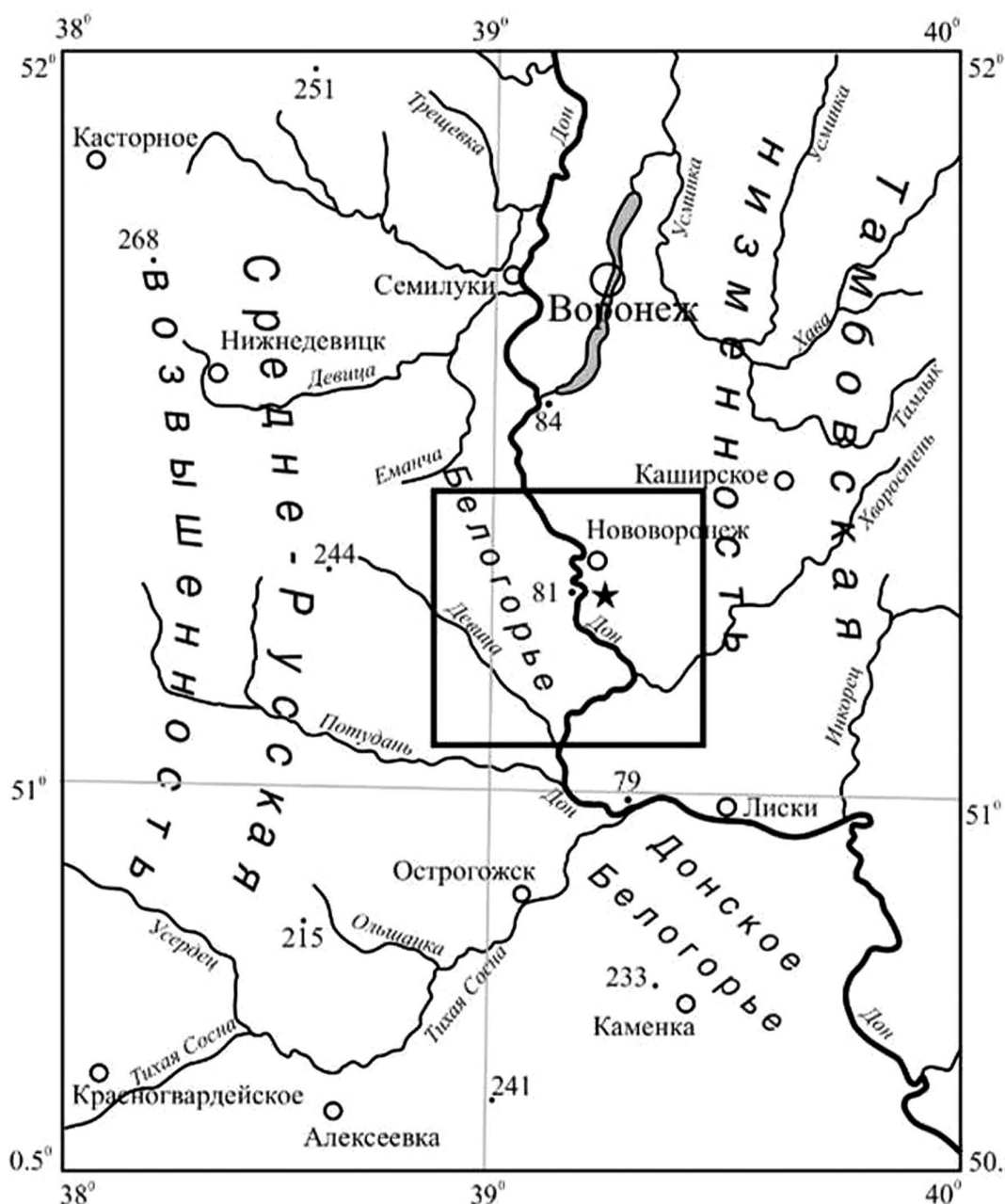


Рис. 1. Положение района исследований (обозначен квадратной рамкой). Звездочкой отмечена Нововоронежская АЭС

Fig. 1. The research area (indicated by the square frame) The star marked the Novovoronezh NPP

дешифрирование аэрофотоснимков на основе дистанционных методов. Кинематические признаки современных деформаций, выявленные на плоскостях трещин в виде борозд скольжения и заколов, анализировались тектонофизическим (структурно-геодинамическим) методом.

В основу исследований положена научная концепция глубинных геодинамических систем,

практическим выходом которой является оценка безопасности территорий инженерных объектов относительно трех факторов: литологического, неотектонического и геодинамического [9].

В районе среднего течения р. Дон проведены исследования литологических и структурно-геоморфологических условий, новейших тектонических структур, их амплитуд и скоростей движений.

Литология и структурная геоморфология

Кристаллический фундамент сложен архей-нижнепротерозойскими глубоко метаморфизованными породами, нарушенными интенсивной складчатостью и разломами. В фундаменте выделено девять раннепротерозойских разломов, из которых наиболее принципиальными в аспекте проявления в рельефе и неотектонике являются два: субмеридиональный Семилуки-Липецкий и широтный Судженско-Икорецкий. Первый разлом в целом наследуется долиной р. Дон, включая и плиоценовый палео-Дон. Второй в западной части согласуется с долиной р. Потудань, а в восточной части — с границей Тамбовской низменности и Калачской возвышенности. В этом случае несогласное сочетание этих форм рельефа может являться косвенным признаком концентрации в рассматриваемом разломе повышенных напряжений и деформаций. Согласно буровым и геофизическим данным проникновение разломов фундамента в осадочный чехол с существенным смещением реперных горизонтов (более 2,5 м) до сих пор нельзя считать доказанным.

Поверхность кристаллического фундамента ступенчато снижается с юго-запада на северо-восток. На юго-западе на правобережье Дона в районе рр. Девица и Потудань (Павловское поднятие) фундамент расположен наиболее близко к земной поверхности на абсолютных отметках +20 м. На северо-востоке на левобережье в районе рр. Хворостань и Тавровка его поверхность опущена до минус 30 м. В районе площадки НВ АЭС фундамент деформирован с образованием относительно небольшого овального выступа-поднятия с абсолютными отметками плюс 5—8 м [2].

Осадочный чехол перекрывает сильно выветренную и тектонически нарушенную поверхность кристаллического фундамента со стратиграфическим перерывом и резким угловым несогласием. Отложения начинаются со среднего девона и заканчиваются меловыми [4]. В коренные породы чехла врезаются позднекайнозойские палеорусла, выполненные рыхлыми плиоценовыми и четвертичными отложениями.

Структурно-геоморфологические условия правобережья и левобережья Среднего Дона различны. Правобережье, представленное формами рельефа Среднерусской возвышенности с абсолютными отметками 100—250 м, имеет ярусное строение в виде серии эрозионно-денудационных ступеней и речных надпойменных террас. Ступени, вырабатанные главным образом на меловых породах,

были выделены на основе многочисленных структурно-геоморфологических разрезов (рис. 2).

Ступени формировались начиная с позднего плиоцена в связи со спорадическим поднятием территории. Самой высокой ступенью является первая плиоценовая с абсолютными отметками 215—220 м. В нее врезана вторая эоплейстоценовая ступень с отм. 180—200 м. Третья ступень, датированная первой половиной раннего неоплейстоцена, имеет отм. 160—180 м, и четвертая ступень второй половиной раннего неоплейстоцена находится на отм. 120—140 м. Врезы (вложения) относительно низких ступеней в более высокие составляют 20—30 м. Их тыловые швы часто скрыты под перевиваемыми эолово-делювиальными песками (vd II—III). В поверхности (ступени) врезаются V-образные овраги и ложбины, днища и склоны которых выполнены пролювиально-делювиальными песчанистыми суглинками (pd III—IV).

Левобережье Дона является частью обширной Тамбовской низменности с абсолютными отметками рельефа 100—170 м (см. рис. 1). Равнина сложена плиоценовыми, эоплейстоценовыми и раннеэоплейстоценовыми преимущественно аллювиальными отложениями, выполняющими обширный Кривоборский плиоценовый прогиб. Отложения отвечают аккумулятивному циклу, соответствующим числу денудационных ступеней (педиментов) правобережья Дона. Сопряженность циклов осадконакопления левобережья с денудационными ступенями правобережья указывает на то, что их образование происходило одновременно в связи с неравномерными неотектоническими движениями и климатическими изменениями. При этом равнинная часть левобережья испытывала опускание, а возвышенная часть правобережья — поднятие. Долина Дона отвечала зоне сопряжения этих двух с разным знаком движения частей платформы.

В раннем неоплейстоцене произошло резкое похолодание климата и становление максимального донского оледенения (g Idns). Последствием этого оледенения являются накопления моренных и флювиогляциальных образований. Моренные суглинки наиболее широко распространены в районе г. Воронеж, а в долине Дона они размыты. На морене залегают флювиогляциальные отложения, которые по генезису отвечают времени отступления донского оледенения. Пески слагают живописный Воронежский оз (f, lg Ids), который возвышается над урезом Дона на 70—80 м. Пески оза по простиранию замещаются

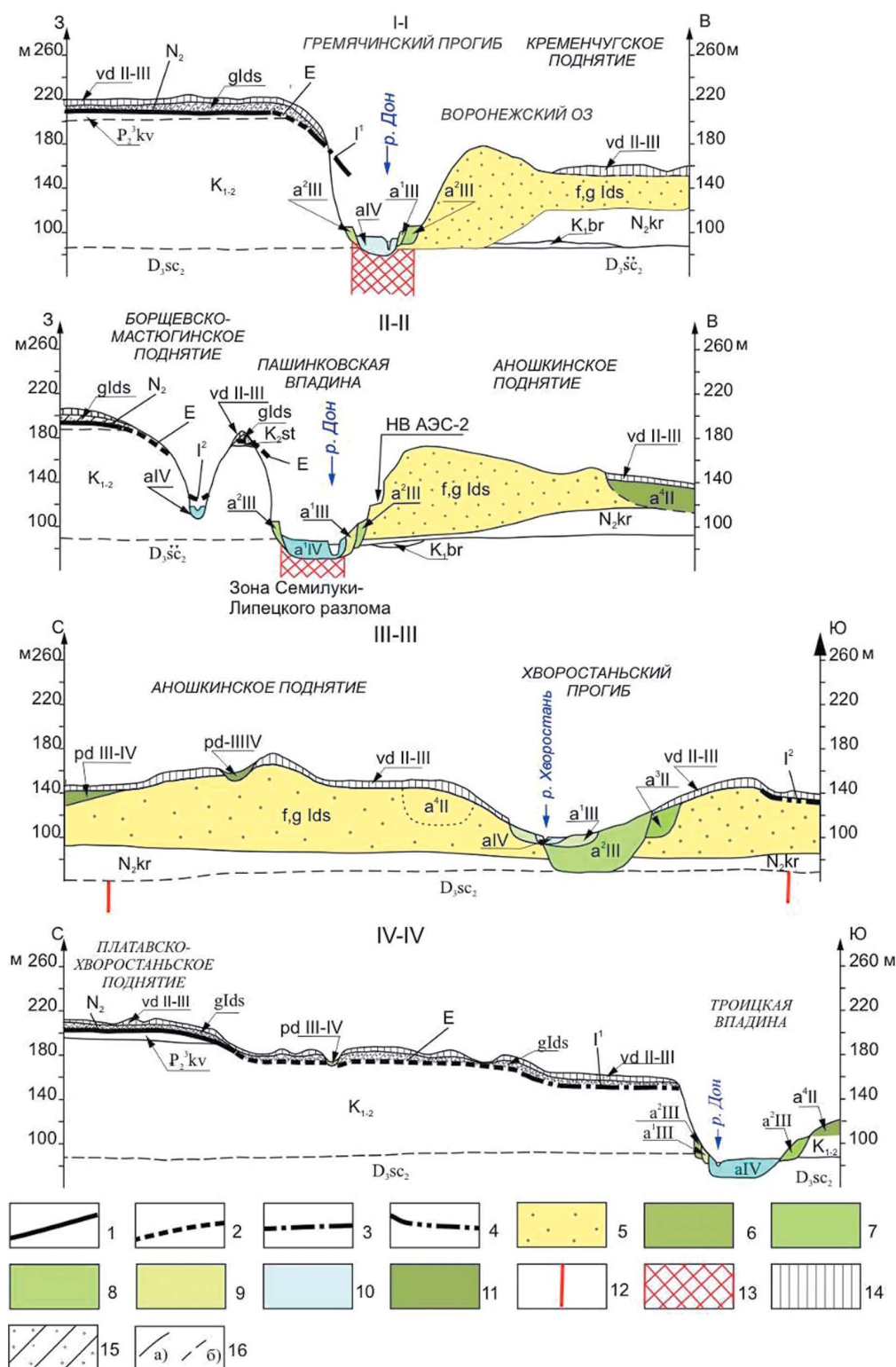


Рис. 2. Структурно-геоморфологические разрезы района среднего Дона. Эрозионно-денудационные ступени: 1 — плиоценовая (N₂), 2 — эоплейстоценовая (E), 3 — первой половины (I¹) и 4 — второй половины раннего неоплейстоцена (I²). 5 — Флювиогляциальные отложения (f, lg lds). Речные и балочные террасы: 6 — четвертая (a⁴ II); 7 — третья (a³ II); 8 — вторая (a² III), 9 — первая (a¹ III) и 10 — пойма (IV). 11 — Проллювиально-делювиальные отложения днищ и склонов ложбин (pd III—IV). 12 — Предполагаемые разломы;

13 — Семилуки-Липецкая ГДАЗ. 14 — Эолово-делювиальные покровные лёссовидные суглинки (vd II—III).

15 — Морена донского оледенения (g Ids). 16 — Границы геологические: а) достоверные, б) предполагаемые.

НВ АЭС-2 — Нововоронежская АЭС-2 (вторая очередь строительства 6-го и 7-го энергоблоков)

Fig. 2. Structural-geomorphological cuts of the middle don region. Erosion-denudation steps: 1 — Pliocene (N2), 2 — Eopleistocene (E), 3 — first half (I1) and 4 — second half of the early Nelefitocene (I2). 5 — fluvioglacial sediments (f, lg Ids). River and beam terraces: 6 — fourth (a⁴ II); 7 — third (a³ II); 8 — second (a² III), 9 — first (a¹ III) and 10 — floodplain (IV). 11 — Proluvial deluvial deposits of the bottoms and slopes of the nasal (pd III—IV). 12 — alleged faults; 13 — Semiluki-Lipetsk geodynamically active zone. 14 — Eolii deluvial formations (vd II—III). 15 — Glacial sediments of the Don Age (g Ids). 16 Geological boundaries: a) reliable, b) alleged. NW NPP-2 — Novovoronezh NPP-2 (Second line of construction 6 and 7 power units)

водораздельным зандром, который на левобережье залегает на кривоборских песках, а на правобережье — на морене.

Средне- и позднеплейстоценовое время выразилось формированием четырех надпойменных террас: самой древней четвертой (a⁴ II), которая врезана во флювиогляциальные отложения, третьей (a³ II), второй (a² III) и первой (a¹ III). Относительные превышения четырех террас над уровнем воды Дона составляют и 50—60, 30—35, 18—25 м и 8—10 (15) м соответственно (см. рис. 2).

В голоценовое время сформировалась пойма (a IV), относительная высота которой составляет 3 и 5—7 м (низкая и высокая). В створе с площадкой АЭС она имеет большую ширину до 2 км. В ней отмечается развитие изометричных очень пологих понижений диаметром 2—3 м, происхождение которых связано с суффозией и выщелачиванием карбонатных пород девона. Эти породы залегают близко к земной поверхности и являются сильно выветрелыми и трещиноватыми. У площадки АЭС поверхность коренных пород местами всего на 5 м ниже (абсолютной отметки +75 м) межи р. Дон, которая находится на абсолютной отметке +80 м.

На площадке НВ АЭС на основе буровых и геофизических данных был исследован погребенный рельеф коренных пород. В нем были выявлены палеоруслы, врезанные в меловые глины и верхнедевонские известняки до глубины от 3—6 до 10 м. Палеоруслы, как правило, выполнены пестрыми по гранулометрическому и фациальному составу песками. Эти врезы отчасти согласуются с зонами повышенной трещиноватости, выделенными на основе дешифрирования снимков. О наличии таких зон свидетельствуют субвертикальные границы фациальной изменчивости песков. В погребенных руслах в притальвеговых частях выявлены крупные останцы писчего мела, образовавшиеся при размыве коренных пород склона.

По палеоруслам (врезам), вскрывшим нижнемеловые и девонские глины, происходит взаимодействие и фильтрация грунтовых и межпластовых

вод, на что указывают выходы родниковых вод в пойме Дона. Через эти врезы приповерхностный мелкозем проникает в трещиноватые и разрушенные карстом известняки, что вызывает образование большого числа просадок на земной поверхности. Таким образом, погребенный рельеф является существенным фактором для платформенных территорий, определяющим суффозионную и карстовую активность, часто отрицательно влияющую на устойчивость площадок АЭС.

Неотектоника и современная геодинамика

Новейшие тектонические структуры представлены изгибного типа поднятиями и прогибами (опусканиями) платформенного типа, геодинамически активными зонами (ГДАЗ) и зонами повышенной трещиноватости.

Среди изгибных структур особо выделяется протяженный Доно-Воронежский прогиб, состоящий из нескольких последовательно формирующихся впадин. С прогибом согласуется долина р. Дон, которая сегментирована на ряд аномальных расширений и сужений. В них отмечается увеличение до 20 м и уменьшение до 8—10 м мощности аллювия соответственно. Установлено, что расширения соответствуют Гремячинской (Гр), Пашенковской (Пш) и Троицкой (Тр) впадинам, которые кулисно сочленяются друг с другом. Их границами являются диагонально ориентированные зоны линеаментов С-З простирания, с которыми согласуются antecedentные участки р. Дон, выраженные сужением поймы, спрямлением и углублением русла. Antecedentные участки могут указывать на растущие локальные поднятия, сопряженные со впадинами, которые согласуются с протяженным Семилуки-Липецким (Ливенско-Богучарским) раннепротерозойским разломом (рис. 3).

Тектоно-физический анализ трещиноватости, полученный в полевых условиях, выполненный Н.А. Гордеевым (ИФЗ РАН), в основном в верхнемеловых отложениях писчего мела, показал, что локальные впадины (Гр, Пш, Тр) формируются в условиях сбросо-сдвиговых напряжений,

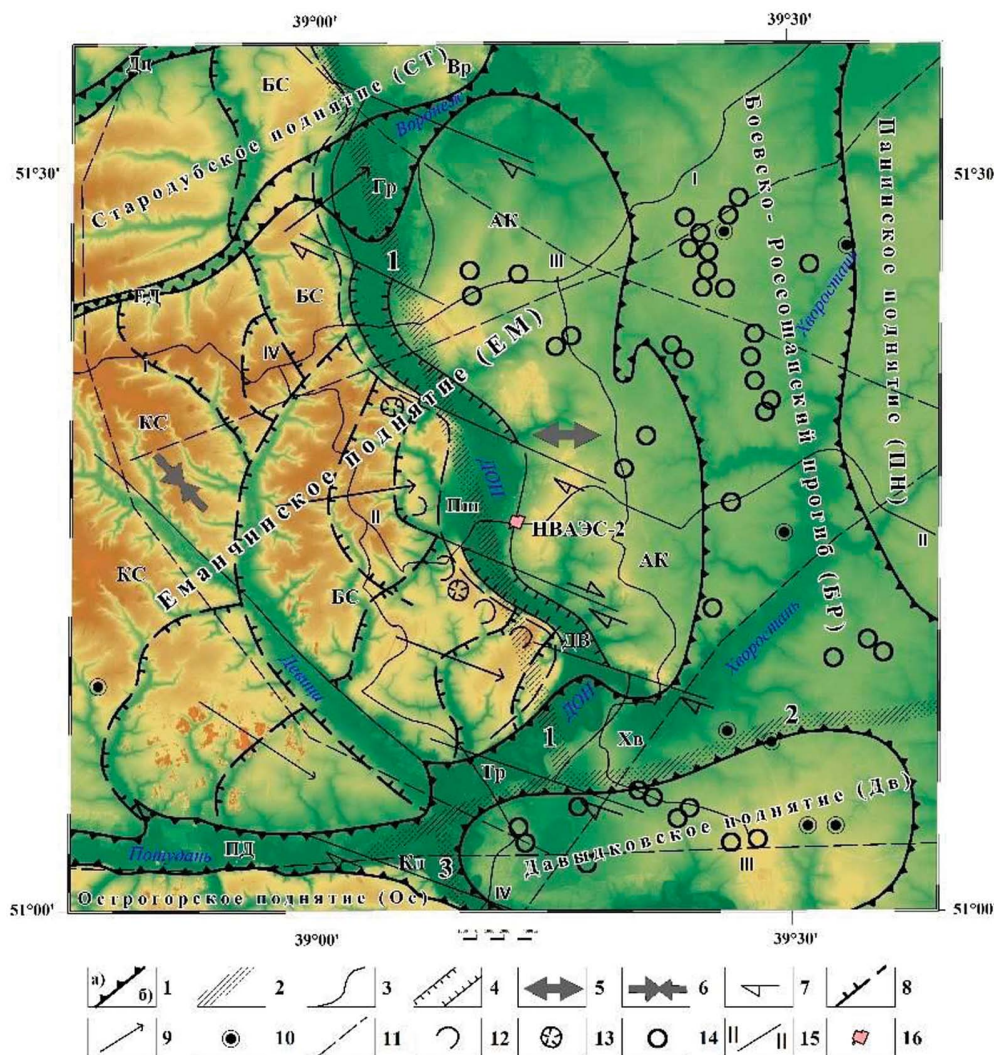


Рис. 3. Неотектоническое строение района среднего течения р. Дон. 1 — Неотектонические структуры (бергштрихи направлены в сторону прогибов). а) Прогибы: ПД — Потуданский, ДЦ — Девицкий, ЕД — Еманчинско-Донской, ДВ — Доно-Воронежский (Гр — Гремячинской, Пш — Пашенковской, Тр — Троицкой), БР — Боевско-Россошанский, Хв — Хворостанский и Кл — Калининский; б) поднятия: КС — Касторненское, ЕМ — Еманчинское, СТ — Стародубское, ПН — Панинское, Ак — Аношкинско-Колодезное, Вр — Воронежское, Ос — Острогорское. 2 — геодинамически активные зоны (1 — Семилуки-Липецкая, 2 — Судженско-Икоретская и 3 — Тихососновская). 3 — Линеаменты, связанные с зонами повышенной трещиноватости. 4 — Антецедентные участки речных долин, 5 — напряжения растяжения, 6 — напряжения сжатия, 7 — сдвиговые напряжения, 8 — границы тектоно-гравитационных массивов (БС — Белогорско-Сторожевой), 9 — направление смещения массивов, 10 — эпицентры землетрясений [5], 11 — разломы докембрийского фундамента, 12 — оползневые склоны, 13 — карстовые воронки; 14 — эпицентры землетрясений; 15 — структурно-геоморфологические профили; 16 — пункт НВ АЭС

Fig. 3. Neotectonic structure of the middle don region. 1 — Neotectonic structures: а) lowering: ПД — Potudanskiy, ДЦ — Devitskiy, ЕД — Yemanchinsko-Donskoy, ДВ — Dono-Voronezhskiy (Гр — Gremyachinskoy, Пш — Pashenkovskoy, Тр — Troitskoy), БР — Boyevsko-Rossoshanskiy, Хв — Khvorostanskiy and Кл — Kalininskiy; б) Raising: КС — Kastornenskoye, ЕМ — Yemanchinskoye, СТ — Starodubskoye, ПН — Paninskoye, Ак — Anoshkinsko-Kolodeznoye, Вр — Voronezhskoye, Ос — Ostrogorskoye. 2 — geodynamically active zones (1 — Semiluki-Lipetskaya, 2 — Sudzhensko-Ikoretskaya and 3 — Tikhososnovskaya). 3 — Linements associated with zones of increased fracture. 4 — Antecedent areas of river valleys, 5 — stretching, 6 — compression, 7 — shifts, 8 — borders of tectono-gravitational masses (БС — Belogorsko-Storozhevoy), 9 — the direction of displacement, 10 — epicenters of earthquakes [5], 11 — Fault Precambrian foundation. 12 — landslides, 13 — Cars; 14 — epicenters of earthquakes; 15 — structural geomorphological profiles; 16 — Novovoronezh NPP

или, точнее, по типу пулл-апат. В зонах линейных элементов по трещинам установлены кинематические индикаторы деформаций (зеркала скольжения), указывающие на правосдвиговые напряжения сжатия. Подобного типа структуры впервые были выделены М.Л. Коппом [7].

С нашей точки зрения эти впадины геодинамически активны, поскольку в них происходит интенсивное осадонакопление и опускание. Они играют роль своеобразных геодинамических центров, от которых исходят напряжения растяжения. Превышение этих напряжений над литостатическим давлением вызывает тектоно-гравитационное сползание, отчетливо выраженное на склонах высокого правобережья Дона. Смещение происходит с запада на восток по глинам барремского яруса нижнего мела и, возможно, по более глубокой погребенной поверхности кристаллического фундамента в основном в сторону изгибающегося русла Дона. Тыловые ограничения этих массивов выражены дугowymi руслами рек Девица и Еманча. В них установлены стенки отседания и трещины закола в виде смещений почв. Конфигурация тыловых ограничений позволяет объединить их в один крупный Белогорско-Сторожевой оползневой массив, который как бы разваливает со всех сторон Воронежское (Еманчинское) неотектоническое поднятие.

Район среднего течения Дона является хорошим объектом для изучения разнородных (разноглубинных) напряжений. Помимо приповерхностных напряжений растяжения выделяются и глубинные, связанные с внутрикоровой активностью Окско-Донского прогиба как геодинамически активного [8]. Согласно ГСЗ «Гранит» и механизмам очагов сейсмичностью прогиба источник напряжений (центр) локализован в нижнекоровом слое земной коры (см. рис. 3). По причине оттока подкорового глубинного вещества от активного центра под Воронежское поднятие левобережье Дона подвержено напряжениям растяжения, а правобережье — сжатию. В первом случае формируются четвертичные Еманчинское и Стародубское поднятия, Еманчинско-Донской и другие прогибы северо-восточного простирания (антиклинале- и синклиналеподобные формы соответственно). Во втором — Аношкинско-Колодезное и Пашинское поднятия и Боевско-Росошанский прогиб и другие молодые структуры субмеридионального простирания (горсто- и грабенообразные формы). Границей глубинных напряжений растяжения и сжатия является протяженная Семилуки-Липецкая геодинамически активная

зона сдвиговых напряжений, которая вызывает развитие структур по типу пулл-апат.

Количественная оценка неотектонических движений

Согласно акад. В.Е. Хаину (1971), неотектонические движения обладают специфической особенностью, связанной с прерывисто-стадийным характером развития. Признак стадийности движений — отчетливо и закономерно выраженная в рельефе серия денудационных ступеней, включая речные цикловые террасы [6]. Особенностью их формирования является цикличность, обусловленная неотектонической прерывистостью и климатическими изменениями. Возраст ступеней определяется возрастом пород, на которых они выработаны, и возрастом перекрывающих или вложенных в них более молодых отложений. Важную роль в оценке возраста играет корреляция денудационных ступеней с новейшими отложениями, датировка которых основана на фауне.

Выявление деформаций, выраженных в рельефе, позволяет оценить амплитуды и скорости движений за новейшее (30—35 млн лет), т.е. суммарное время, и за отдельные его стадии, исчисляемые десятками и сотнями тысяч лет. По С.А. Несмеянову общая (суммарная) амплитуда неотектонического поднятия соответствует максимальной абсолютной отметке самой древней эрозионно-денудационной поверхности за вычетом мощности покровных отложений [13]. В нашем случае это ледниковые (морена) и золово-делювиальные (лессовые суглинки) образования. В районе исследований самой древней поверхностью является позднеплиоценовая (200 м), перекрывающаяся покровными образованиями мощностью 18—20 м. На более низких поверхностях мощности покровов минимальны и составляют менее 18 м. Общая скорость поднятия за новейший этап рассчитывается делением относительной амплитуды на время, за которое эта амплитуда образовалась (абсолютный возраст поверхности). Согласно этим расчетам в районе среднего течения р. Дон общая амплитуда позднеплиоценовых поднятий составляет 180—200 м, а общая скорость — 0,05 мм/год (табл.).

Постадийные скорости поднятий — это отношение амплитуды поднятия за новейшее время к величине вреза за это время, равное отношению амплитуды за определяемый этап к величине вреза за этот этап. Имеется важное допущение, что амплитуды постадийных поднятий в общем случае пропорциональны глубинам цикловых врез.

Таблица. Амплитуды и скорости суммарных новейших и постадийных движений
Table. Amplitudes and speed of tectonic movements

Циклы рельефа	Амплитуды поднятий, метры / продолжительность стадии (тыс. лет)	Скорости поднятий, мм/год
Q_4	15—20/11	1,36—1,81
Q_3^{3-4}	22/46	0,17—0,47
Q_3^{1-2}	25/56	0,39—0,44
Q_2^{3-4}	25/115	0,16—0,22
Q_2^{1-2}	35/93	0,34—0,37
Q_1^{3-4}	140/528	0,26
Q^{11-2}	160/760	0,21
E	180/1 800	0,10
N_2^3	200/3 600	0,05

Продолжительность стадий в абсолютных цифрах соответствует данным региональных и местных хроностратиграфических шкал [1, 11]. Расчеты показали, что постадийные амплитуды имеют размах от 180 м в эоплейстоцене до 15 (20) м в голоцене. Скорости колеблются в интервале от 0,1 до 1,36—1,81 мм/год соответственно. Причем скорости движений в голоцене относительно самые высокие, а самые низкие — в позднем плиоцене.

Специальная высокоточная нивелирная сеть в районе размещения площадки НВ АЭС, созданная для наблюдений за современными вертикальными движениями земной коры, свидетельствует, что площадка АЭС находится в едином блоке земной коры, в области равномерного опускания земной поверхности со скоростью 0,5 мм/год. На карте современных вертикальных движений земной коры России [12] району АЭС соответствуют значения 0 (–2) мм/год (опускание).

Таким образом, территория Нововоронежской АЭС является геодинамически спокойной, скорости движений (как расчетные, так и по данным инструментальных измерений) относительно невысоки, однако они активизируют экзогенные процессы, которые негативно влияют на устойчивость площадки НВ АЭС.

Выводы

В районе среднего течения р. Дон неотектонические структуры и интенсивные экзогенные процессы формируются под влиянием окско-донских тектонических напряжений типа растяжения-сжатия, которые классифицированы по глубине. Глубинные напряжения ответственны за формирование крупных неотектонических структур, приповерхностные — обуславливают развитие экзогенных

процессов. На правобережье Дона в условиях приповерхностных напряжений растяжения активно развивается карст (воронки и пещеры), тектоно-гравитационные массивы, мелкие склоновые оползни, V-образные овраги, ложбины, промоины и рытвины. На левобережье выявлено интенсивное развитие обширных суффозионных просадок в покровных лессовидных суглинках, перекрывающих зандровые пески. Малые просадочные формы тяготеют к балкам и ложбинам.

Границей разнотипных тектонических напряжений является Семилуки-Липецкая геодинамически активная зона сдвигового типа, где выявлены сбросового типа впадины по типу пулл-апарт с сопряженными диагональными линейментами. На правобережье р. Дон под влиянием приповерхностных напряжений растяжения интенсивно развиваются экзогенные геологические процессы, в частности карстово-суффозионные. В окрестностях Нововоронежской АЭС эти процессы приурочены к погребенным плиоценовым, эоплейстоценовым и нижнелеоплейстоценовым палеорулам. Они вскрыли меловые водоупорные глины вплоть до девонских известняков и ныне вызывают в них процессы выщелачивания.

На основе анализа деформаций денудационных ступеней и надпойменных террас определены новейшие (суммарные за 30—35 млн лет) и постадийные амплитуды и скорости поднятий. Эти скорости относительно небольшие, однако они вызывают активизацию интенсивных экзогенных геологических процессов, негативно влияющих на устойчивость площадки Нововоронежской АЭС и требующих учета и контроля с помощью мониторинговых средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Актуализированная легенда Центрально-Европейской серии листов к Государственной геологической карте РФ м-ба 1:1000 000. Объяснит. записка и схемы неогена и квартера. М.: ВСЕГЕИ, 2014. 255 с.
2. Геологическая и гидрогеологическая карты СССР м-ба 1:200 000. Серия Брянско-Воронежская. Лист М-37-IV. Объяснит. записка. Авторы: С.В. Алехин, Т.А. Ишунина. М.: Недра, 1981. 135 с.
3. Геологическая карта СССР м-ба 1: 200 000. Серия Брянско-Воронежская. Лист М-37-X. Объяснит. записка. Составитель: Н.Г. Бородин. М.: Недра, 1969. 181 с.
4. Государственная геологическая карта РФ. М-б 1:1 000 000. Лист М-37 (38). Объяснит. записка. Изд-во С-П картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2001. 363 с.
5. Ежова И.Т., Ефременко М.А., Трегуб А.И. Сейсмическая активность и неотектоника Воронежского кристаллического массива // Вестник ВГУ. Серия Геология. 2010. № 1. С. 229—232.
6. Карта поверхностей выравнивания и кор выветривания СССР // М-б: 1:2 500 000. Ред. И.П. Герасимов, А.В. Сидоренко. М.: Мингео СССР-АН СССР, 1971. 8 л.
7. Копп М.Л. Окско-Донской новейший прогиб. Мобилистская неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. Отв. ред. Ю.Г. Леонов. Труды ГИН РАН. М.: Наука, 2004. № 552. С. 190—237.
8. Макарова Н.В., Макаров В.И., Корчуганова Н.И., Соколовский А.К., Суханова Т.В. Окско-Донской прогиб — современная геодинамическая зона Восточно-Европейской платформы // Изв. вузов. Геология и разведка. 2002. № 2. С. 3—13.
9. Макеев В.М. Структурно-геодинамические условия устойчивости территорий особо опасных и технически сложных объектов на древних платформах: автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М. 2015. 50 с.
10. Макеев В.М., Макарова Н.В., Суханова Т.В., Пикулик Е.А. Современная геодинамика и неотектоника центральной части Русской равнины // Фундамент. проблемы тектоники и геодинамики: Мат-лы LI тектонич. совещ. М.: ГЕОС, 2020. Т.2. С. 67—72.
11. Международная хроно-стратиграфическая шкала ISC IUGS. Международная стратиграфическая комиссия: www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale/. 2017.
12. Национальный атлас России. Том 2. Природа и экология. 2007. Геологическое строение и ресурсы недр. Современные вертикальные движения земной коры. Масштаб 1:15 000 000. Отв. ред. Г.Ф. Кравченко / ПКО «Картография» под общ. рук. М-ва транспорта Российской Федерации и Роскартографии. 2007. С. 50—51.
13. Несмеянов С.А. Инженерная геотектоника. М.: Наука, 2012. 560 с.
14. Тектоника восточной части Воронежского кристаллического массива и его осадочного чехла. Ред. Г.И. Раскатов, В.Ф. Лукьянов, А.А. Старухин. Воронеж, 1976. 120 с.
15. Трегуб А.И. Неотектоника территории Воронежского кристаллического массива // Труды научно-исслед. ин-та геологии Воронежского гос. ун-та. Воронеж, 2002. Вып. 9. 220 с.
16. Холмовой Г.В., Глушков Б.В. Неогеновые и четвертичные отложения Среднерусской возвышенности. Труды научно-исслед. института геологии Воронежского гос. ун-та. Воронеж, 2001. Т. 1. 120 с.

REFERENCE

1. Actualized legend of the central European series of sheets to the state geological map of the Russian Federation scale 1: 1000,000. Explanatory note and schemes of neogen and quarter. Moscow: VSEGEI, 2014. 255 p. (In Russian).
2. Geological and hydrogeological maps of the USSR scale 1: 200 000. Series Bryansko-Voronezh. M-37-IV. Explanatory note. Authors: S.V. Alekhin, T.A. Ishunin. Moscow: Nedra, 1981. 135 p. (In Russian).
3. Geological map of the USSR scale 1: 200 000. Series Bryansko-Voronezh. M-37-X. Explanatory note. Compiler: N.G. Borodin. Moscow: Nedra, 1969. 181 p. (In Russian).
4. State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1 000 000. Sheet M-37, (38). Explanatory note. Moscow: VSEGEI, 2001. 363 p. (In Russian).
5. Yezhova I.T., Efremenko M.A., Tregub A.I. Seismic activity and tectonics of the Voronezh Crystalline Massif // Vestnik VGU. Seriya geologiya. 2010. № 1. P. 229—232. (In Russian)
6. Map of alignment surfaces and weathering of the USSR // Scale: 1: 2 500 000. Ed. I.P. Gerasimov, A.V. Sidorenko. Moscow: Mingeo SSSR-AN SSSR, 1971. 8 liters (In Russian).
7. Kopp M.L. Oka-Don modern deflection. Mobilist neotectonics platforms of southeastern Europe. Responsible editor Yu.G. Leonov. Trudy GIN RAN. Moscow: Science, 2004. No. 552. P. 190—237 (In Russian).
8. Makarova N.V., Makarov V.I., Korcuganova N.I., Sokolovsky A.K., Sukhanova T.V. Oka-Don Progive is a modern geodynamic zone of the Eastern European Platform // Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka. 2002. № 2. P. 3—13 (In Russian).
9. Makeev V.M. Structural and geodynamic conditions for the sustainability of the territories of particularly dangerous and technically complex objects on ancient platforms. Abstract doctor-geological and mineralogical sciences. "Ay-klub", 2015. 50 p. (In Russian).

10. Makeev V.M., Makarova N.V., Sukhanova T.V., Pikulik E.A. Modern geodynamics and neotectonics of the central part of Russian plains // Fundamental problems of tectonics and geodynamics: Materials LI Tectonical Meeting. Moscow: Geos, 2020. T. 2. P. 67—72 (In Russian).
11. International chrono-stratigraphic scale ISC IUGS. International Stratigraphic Commission: www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale/. 2017.
12. National Atlas of Russia. Vol. 2. Nature and ecology. 2007. Geological structure and subsoil resources. Modern vertical movements of the earth's crust. Scale 1: 15 000 000. Responsible editor G.F. Kravchenko / PKO "Kartografiya" under the general. hands. The Ministry of Education of Transport of the Russian Federation and Roskartography. 2007. P. 50—51 (In Russian).
13. Nesmeyanov S.A. Engineering geotectonics. Moscow: Nauka, 2012. 560 p. (In Russian).
14. Tectonics of the eastern part of the Voronezh Crystalline Arrays and its sedimentary cover. Editors: G.I. Rascatov, V.F. Lukyanov, A.A. Starukhin. Voronezh, 1976. 120 p. (In Russian).
15. Tregub A.I. The neotectonics of the territory of the Voronezh Crystalline Massif // Trudy nauchno-issledovatel'skogo instituta geologii Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Voronezh, 2002. Vol. 9. 220 p. (In Russian).
16. Holmova G.V., Glushkov B.V. Neogene and quaternary deposits of the mid-Russian elevation. Trudy nauchno-issledovatel'skogo instituta geologii Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Voronezh, 2001. T. 1. 120 p. (In Russian).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Макеев В.М. — разработал методику исследования, провел полевые и камеральные исследования неотектоники и геодинамики территории, разработал концепцию статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Пикулик Е.А. — провела полевые и камеральные исследования структурно-геоморфологического строения территории и погребенного рельефа, подготовила текст и графику статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Гусельцев А.С. — произвел оценку негативного влияния экзогенных процессов на устойчивость площадки НВ АЭС, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Vladimir M. Makeev — developed a methodology for studying, conducted studies of the neotectonic and geodynamics of the territory, developed the concept of an article, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Elena A. Pikulik — conducted studies of the structural-geomorphological structure of the territory and the buried relief, prepared the text and graphics of the article, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of work.

Alexander S. Guseltsev — made an assessment of the negative impact of exogenous processes to the Novovoronezh NPP, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

Макеев Владимир Михайлович* — доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, исполняющий обязанности заведующего лабораторией эндогенной геодинамики и неотектоники ФГБУН «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН».

13, стр. 2, Уланский пер., а/я 145, Москва 140005, Россия

E-mail: vmakeev@mail.ru

SPIN-код: 6318-3113

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1037-6821>

Vladimir M. Makeev* — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), top manager of Laboratory of Endogenous Geodynamics and Neotectonics, Sergeev Institute of Environmental Geoscience of RAS.

13, bld. 2, Ulansky lane, Moscow 140005, Russia

E-mail: vmakeev@mail.ru

SPIN-code: 6318-3113

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1037-6821>

Пикулик Елена Александровна — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории геоинформатики и компьютерного картографирования ФГБУН «Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН». 13, стр. 2, Уланский пер., а/я 145, Москва 140005, Россия
E-mail: elena_pikulik@bk.ru
SPIN-код: 5984-0130
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6556-4670>

Гусельцев Александр Сергеевич — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник ФБУ «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности». 2/8, к. 5, ул. Малая Красносельская, Москва 107140, Россия
E-mail: gouseltsev@secnrs.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2355-8552>

Elena A. Pikulik — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), senior researcher, Sergeev Institute of Environmental Geoscience of RAS. 13, bld. 2, Ulansky lane, Moscow 140005, Russia
e-mail: elena_pikulik@bk.ru
SPIN-code: 5984-0130
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6556-4670>

Alexander S. Guseltsev — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), senior researcher, Scientific and technical center for nuclear and radiation safety. 2/8, bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow 107140, Russia
E-mail: gouseltsev@secnrs.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2355-8552>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ БУРОВЫХ УСТАНОВОК И ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Д.Н. КОРОТАЕВ, Е.В. ИВАНОВА*

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., Москва 117997, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Развитие современной техники и технологий геолого-разведочных работ, горнодобывающих процессов требует решения задач, связанных с обеспечением надежности, долговечности деталей механизмов, работающих в условиях повышенных температур и давлений при наличии агрессивной внешней среды. В связи с этим возникает необходимость в создании функциональных покрытий, обладающих уникальными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Цель — повышение эксплуатационных свойств электроискровых покрытий на основе анализа причинно-следственной диаграммы и регрессионного исследования технологических режимов обработки стальных деталей геолого-разведочного оборудования (на примере штоков гидроцилиндров буровых насосов).

Материалы и методы. Для упрочнения стальных поверхностей деталей гидравлического оборудования применена технология электроискрового легирования (ЭИЛ) на механизированной установке IMES-1001 с использованием твердосплавных электродов и различных газовых сред. С целью выявления причинно-следственных связей между факторами воздействия на упрочняемую поверхность и установления наиболее важных факторов, влияющих на качество сформированного покрытия, использована диаграмма Исикавы и выполнен регрессионный анализ. Оценка адгезионной активности полученных покрытий осуществлялась методом атомно-силовой микроскопии. Для этого проводили исследования на сканирующем зондовом микроскопе Solver PRO в полуконтактном режиме сканирования на воздухе с использованием зондовых датчиков марки NSG10 с резонансной частотой 219 кГц и радиусом закругления острия зонда 10 нм. При определении силы адгезионного взаимодействия зонда и поверхности в одной точке абсолютная погрешность составляла 15 нН. Трибологические испытания осуществлялись на стандартной машине трения 2070-CMT-1 по схеме «диск — колодка».

Результаты. На основе анализа причинно-следственной диаграммы установлено, что одним из доминирующих факторов, который влияет на качество формируемых слоев и покрытий на поверхности, являются технологические режимы установки электроискрового легирования. Для того чтобы выявить, какой из технологических параметров оказывает наибольшее влияние, выполнен регрессионный анализ, который показал, что наибольшее влияние на силу адгезии сформированного ЭИЛ покрытия имеет емкость конденсаторов установки. Следовательно, для уменьшения силы адгезионного взаимодействия поверхностей и, как следствие, повышения их износостойкости необходимо при реализации технологии ЭИЛ увеличивать емкость конденсаторов с одновременным уменьшением напряжения и времени обработки. На основе трибологических испытаний сделан вывод, что минимальная скорость изнашивания покрытия может быть получена при легировании стальной поверхности в среде кислорода твердосплавным электродом на основе карбида вольфрама с добавками элементов, образующих с материалом поверхности неограниченные твердые растворы и выполняющих роль флюсов (Ni-Cr-B-Si).

Закключение. В связи с тем что при реализации горнодобывающих и геолого-разведочных процессов повышаются требования к эксплуатационным характеристикам металлических поверхностей деталей, вступающих во фрикционное взаимодействие, возникает необходимость в совершенствовании технологий создания функциональных (износостойких) покрытий.

Ключевые слова: гидравлическое оборудование, покрытие, износостойкость, электроискровое легирование, причинно-следственная диаграмма, регрессионный анализ

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Коротаев Д.Н., Иванова Е.В. Совершенствование технологии электроискрового легирования стальных деталей буровых установок и горнодобывающего оборудования. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(1):88—97. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-88-97>

Статья поступила в редакцию 30.06.2021

Принята к публикации 27.05.2022

Опубликована 22.06.2022

* Автор, ответственный за переписку

IMPROVEMENT OF ELECTROSPARK DEPOSITION TECHNOLOGY OF STEEL UNITS FOR DRILLING RIGS AND MINING EQUIPMENT

DMITRY N. KOROTAEV, ELENA V. IVANOVA*

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

ABSTRACT

Introduction. The development of modern equipment and technologies for geological exploration and mining processes raises the problem of ensuring the reliability and durability of mechanic units operating under the conditions of elevated temperatures and pressures in the presence of aggressive external environments. In this regard, there is a need to create functional coatings with unique physical, mechanical and operational properties.

Aim. To improve the performance of electrospark coatings based on an analysis of a cause-and-effect diagram and a regression study of the technological modes of processing steel units of geological exploration equipment (on the example of hydraulic cylinder rods of drilling pumps).

Materials and methods. To harden the steel surfaces of hydraulic equipment parts, the technology of electrospark deposition (ESD) was used on an IMES-1001 mechanized installation using carbide electrodes and various gas media. In order to identify causal relationships between the factors affecting the hardened surface and to establish the most important factors affecting the quality of the formed coating, the Ishikawa diagram method was used and a regression analysis was performed. The adhesion activity of the obtained coatings was assessed by atomic force microscopy on a Solver PRO scanning probe microscope in a semi-contact air scanning mode using NSG10probe sensors with a resonance frequency of 219 kHz and a radius of curvature of the probe tip of 10 nm. When determining the strength of the adhesive interaction of the probe and the surface at one point, the absolute error was 15 nN. Tribological tests were carried out on a 2070-CMT-1 standard friction machine according to the “disk-shoe” scheme.

Results. The obtained cause-and-effect diagram showed that the technological modes of an electrospark deposition installation comprise a determining factor affecting the quality of the formed layers and coatings. In order to identify those process parameters that had the greatest effect, a regression analysis was carried out. The capacitance of the unit capacitors was found to have the greatest impact on the adhesion force formed by the ESD coating. Therefore, in order to reduce the strength of the adhesive interaction of surfaces and, as a result, increase their wear resistance, it is necessary to increase the capacitance of capacitors while reducing the voltage and processing time when implementing the ESD technology. On the basis of tribological tests, it is concluded that the minimum wear rate of coatings can be obtained by alloying the steel surface in an oxygen environment with a carbide electrode based on tungsten carbide with additives of elements that form unlimited solid solutions with the surface material and perform the role of fluxes (Ni-Cr-B-Si).

Conclusion. Due to strict requirements to the performance of metal surfaces of units that enter into frictional interaction during the implementation of mining and exploration processes, there is a need to improve existing technologies for creating functional (wear-resistant) coatings.

Keywords: hydraulic equipment, coating, wear resistance, electrospark deposition, cause-and-effect diagram, regression analysis

Conflict of interest: the authors declare that there is no conflict of interest.

Funding: the study had no sponsorship.

For citation: Korotaev D.N., Ivanova E.V. Improvement of electrospark deposition technology of steel units for drilling rigs and mining equipment. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(1):88—97. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-88-97>

Manuscript received 30 June 2021

Accepted 27 May 2022

Published 22 June 2022

* Corresponding author

В Российской Федерации уделяется особое внимание проведению различных видов геолого-разведочных работ. Это связано с тем, что экономика страны имеет преимущественно выраженный сырьевой характер по следующим причинам [13]:

1. Россия чрезвычайно богата полезными ископаемыми, их объем составляет примерно 30% всех мировых запасов.

2. Добыча полезных ископаемых дает нашей стране примерно 30% валового внутреннего продукта.

3. Добываемое сырье до 50% экспортируется и приносит до 80% валютной выручки в бюджет страны.

Геолого-разведочные работы, горнодобывающие процессы и непосредственно добычу полезных ископаемых невозможно осуществлять без применения различных видов техники и оборудования, которые классифицируются как по способу добычи полезных ископаемых (открытый способ, карьер или шахта), так и по виду работ в горном деле. Для каждого вида работ используется специализированные машины [14]: горные экскаваторы, карьерные самосвалы, погрузчики и бульдозеры и другое разнообразное оборудование (буровые станки, дробильно-сортировочное оборудование, проходческие комбайны, погрузочно-доставочные машины и т.д.).

Практически во всех видах горнодобывающей техники применяются разнообразные гидравлические системы и устройства: гидравлический инструмент, гидрозамки, гидрораспределители, гидронасосы, плунжерные насосы, насосные

станции высокого давления, гидравлические прессы, гидромоторы, гидроцилиндры и др. [15]. Основным из центральных факторов, который влияет на ресурс применяемых гидроцилиндров, гидронасосов и др., является гидроабразивное изнашивание деталей, вследствие которого на горно-обогатительных комбинатах наиболее часто требуют замены штоки гидроцилиндров, рабочие колеса, плунжеры, бронедиски и другие детали [10, 11].

Как показывает реальная практика, замена деталей, отработавших рекомендуемый срок эксплуатации, вовремя не осуществляется. Это связано с дефицитом запасных частей для насосов, высокой трудоемкостью и сложностью их замены. Поэтому многие насосы большую часть своего рабочего времени эксплуатируются с пониженной эффективностью, что негативно отражается на экономике горно-обогатительного предприятия.

В научной литературе приводятся исследования [12, 19, 20], в которых предлагают разнообразные варианты увеличения ресурса эксплуатации гидронасосов в условиях гидроабразивного изнашивания. Для этого предлагается нанесение абразивных смесей на трибоповерхности, различных видов напыления и наплавки. Однако такие технологии изменения качества и свойств поверхности приводят к увеличению ее шероховатости и неравномерности дальнейшего изнашивания, что снижает КПД. Поэтому изучение формирования износостойких покрытий на основе модификации композиционными материалами с целью повышения трибологических

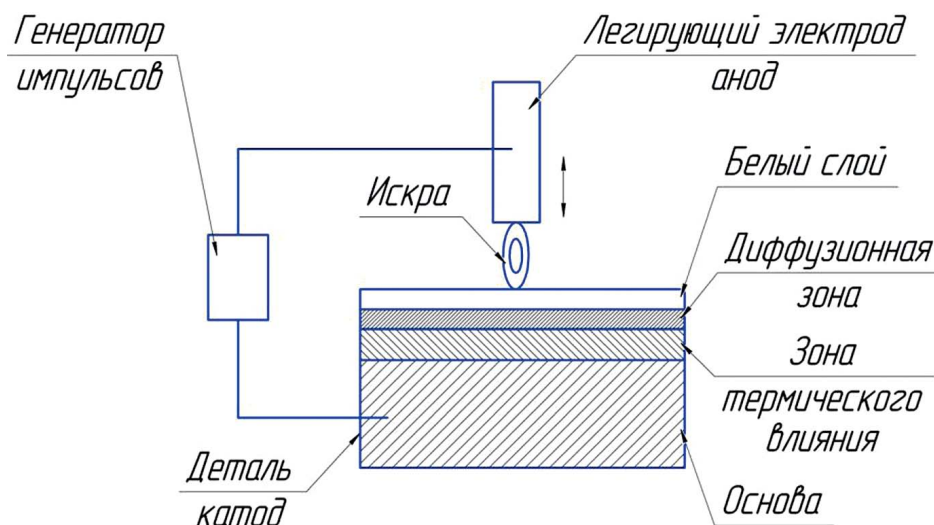


Рис. 1. Общая схема процесса электроискрового легирования
 Fig. 1. General diagram of the electric spark doping process

характеристик стальных деталей требует дополнительного исследования.

Следует отметить, что разработка эффективных способов и технологий, которые позволят уменьшить гидроабразивный износ и максимально увеличить ударно- и износостойкость, является особенно важной и актуальной проблемой отрасли, т.к. они могут существенно повысить долговечность и надежность техники. Актуальность указанной проблемы обуславливает проведение комплексных исследований по материалам износостойких и ударопрочных покрытий, формируемых на быстроизнашиваемых деталях гидроцилиндров и насосов, применяемых в геолого-разведочном и горнодобывающем оборудовании.

В настоящее время существует много традиционных и прогрессивных технологий поверхностного упрочнения, которые приводят к повышению эксплуатационных свойств деталей и в первую очередь износостойкости. Одним из методов, широко применяемым для упрочнения и восстановления поверхностей металлических деталей, является электроискровое легирование (ЭИЛ) [16, 17].

Метод основан на физическом процессе электроискрового взаимодействия анода (легирующий электрод) и катода (упрочняемая поверхность). При подаче напряжения между электродами проходит искра малой длительности воздействия. Температуры поверхностей локально нагреваются и происходит перенос материала легирующего электрода на упрочняемую поверхность. Протекание этого технологического процесса возможно в различных газовых средах, что оказывает влияние на формирование и свойства упрочняемой поверхности (рис. 1). При этом на обрабатываемой поверхности (катоде) формируется покрытие и поверхностный слой с новыми (измененными) физико-химическими и механическими свойствами.

Покрытие на катоде имеет композиционное строение, которое условно можно разделить на отдельные слои. Структурное описание каждого слоя приведено в таблице 1 [18].

Технология ЭИЛ обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами поверхностного упрочнения и термообработки. Отметим эти достоинства:

Таблица 1. Строение поверхностных слоев при электроискровом легировании
 Table 1. Structure of surface layers during electric spark alloying

Слой	Описание
Верхний слой («белый»)	Состоит из материала легирующего электрода и элементов межэлектродной среды
Диффузионная зона	Смесь материалов анода и катода. Образуется в результате диффузии химических элементов материала анода в материал катода (поверхности)
Зона термического влияния	Образуется в результате теплового воздействия. Переходит в структуру основного материала

- возможно упрочнение обрабатываемой поверхности в небольшой ограниченной области (локально) с использованием любых материалов, способных проводить ток;

- свойства упрочненной поверхности характеризуются достаточной для последующей эксплуатации прочностью сцепления покрытия и материала основы, при этом в процессе обработки нет нагрева всей обрабатываемой детали;

- в процессе осуществления технологии ЭИЛ происходит диффузионное обогащение поверхности детали элементами легирующего электрода без изменений размеров детали.

В связи с этим целью настоящей работы является повышение эксплуатационных свойств электроискровых покрытий на основе анализа причинно-следственной диаграммы и регрессионного исследования технологических режимов обработки стальных деталей геолого-разведочного оборудования (на примере штоков гидроцилиндров буровых насосов).

Для установления взаимосвязей между повышением эксплуатационных свойств ЭИЛ и причинами,

влияющими на эффективность указанной технологии, построена причинно-следственная диаграмма Исикавы (рис. 2).

Инструменты управления качеством активно применяют для проведения анализа по выявлению причин и следствий, которые необходимы для решения конкретной проблемы. Диаграмма «рыбий скелет» представляет собой графическое отображение взаимосвязи между результатом (проблемой) и причинами, влияющими на его качество (решение проблемы). Совместно с причинно-следственной диаграммой применяют метод мозгового штурма. Этот метод позволяет провести сортировку по наиболее важным (ключевым) категориям причин проблем.

Для построения диаграммы первоначально необходимо определить результат, который нужно достигнуть, и указать его на главной горизонтальной оси («хребте» диаграммы). В настоящей работе анализируемым потенциальным результатом является увеличение срока эксплуатации машин и оборудования за счет повышения износостойкости поверхности. Далее устанавливаются значимые



Рис. 2. Причинно-следственная диаграмма
Fig. 2. Causal diagram

категории причин, которые влияют на необходимый результат, и указываются на крупных «костях» диаграммы в прямоугольниках (рис. 2). После этого анализируется каждая из категорий, определяются факторы влияния, входящие в эти категории. Факторы наносятся на диаграмму в виде средних и мелких «костей». Эти факторы группируют между собой, стрелками показывают связи влияния на результат. В завершение с помощью диаграммы проводят логический анализ (оценку) и определяют наиболее значимые причины влияния на окончательный результат [6, 9].

Разработанная диаграмма Исикавы предусматривает распределение всех причин, влияющих на формирование износостойких покрытий ЭИЛ, по ключевым категориям: материалы, режимы ЭИЛ, внешняя среда, методы исследования, оборудование. Все причины, которые связаны с исследуемым результатом, детализируются в рамках этих категорий:

- причины, связанные с материалами, включают в себя факторы, обусловленные состоянием и свойствами материала легирующего электрода и упрочняемой металлической поверхности. Например, это химический состав, структура материалов и т.д.;
- причины, связанные с режимами ЭИЛ, включают в себя технологические параметры технологии ЭИЛ: время воздействия (время легирования), длительность импульса искрового разряда, энергия в импульсе, которая зависит от напряжения 1 между легирующим электродом и поверхностью и разрядной емкости конденсаторов 2;
- причины, связанные с внешней средой, — это межэлектродная среда, в которой осуществляется массоперенос материала анода на катод;
- причины, связанные с методами исследования, — это традиционные методы, с помощью которых определяют микроструктуру, состав и свойства обработанной поверхности;
- причины, связанные с оборудованием, — это все факторы, определяющие состояние и возможности оборудования, применяемого для осуществления технологии ЭИЛ: генератор импульсов, механизированная установка, следящая система.

Анализ научных работ в области ЭИЛ [2—5] и причинно-следственной диаграммы Исикавы позволил установить, что основными факторами, которые влияют на качество и свойства обрабатываемых поверхностей (покрытий), являются материал легирующего электрода и технологические режимы установки ЭИЛ: емкость конденсаторов и напряжение в импульсе.

Влияние материала легирующего электрода на эксплуатационные свойства поверхностей, обработанных ЭИЛ, исследовано в работе [7].

Для реализации поставленной цели осуществлялась обработка образцов из стали 45 на различных технологических режимах, при этом напряжение между электродами варьировало в пределах $U = 80 \div 120$ В, емкость конденсаторов составляла $C = 14 \div 120$ мкФ, время обработки $2 \div 3$ мин/см². В качестве оборудования использовали механизированную установку ЭИЛ IMES-1001, предназначенную для электроискровой обработки деталей машин круглого поперечного сечения, оснащенную генератором импульсов IMES-01-2 с электронным блоком (следящей системой), который обеспечивает заданный межэлектродный зазор.

Известно, что в процессе эксплуатации стальных деталей машин и оборудования значительная их часть теряет работоспособность в результате изнашивания контактирующих поверхностей [1]. Изнашивание возникает в результате адгезионного взаимодействия, возникающего между двумя поверхностями, соприкасающимися под действием сжимающей нагрузки и повышенной температуры при трении.

Оценку износостойкости поверхностей, сформированных ЭИЛ, осуществляли на основе измерения силы адгезии. Сила адгезии возникает между поверхностью и зондом сканирующего микроскопа Solver PRO в полуконтактном режиме сканирования с использованием зондовых датчиков марки NSG10 с резонансной частотой 219 кГц и радиусом закругления острия зонда 10 нм. При этом необходимо установить, при каких технологических режимах упрочнения сила адгезии минимальна.

Для измерения силы адгезии снимали кривые подвода-отвода зонда относительно поверхности образца, отражающие зависимость изгиба консоли зонда под действием поверхностных сил при его подводе (отводе) к поверхности (от поверхности) [8]. Типичная топография обработанных методом ЭИЛ приведена на рисунке 3 в 2D- и 3D-поверхностях.

Влияние технологических режимов обработки ЭИЛ на силу адгезионного взаимодействия исследовали, используя планирование многофакторного эксперимента. В качестве функции отклика выбрана зависимость силы адгезии от режимов ЭИЛ. Факторами воздействия на исследуемый объект (силу адгезии) были приняты: X_1 — напряжение между легирующим электродом и поверхностью; X_2 — емкость конденсаторов; X_3 — время обработки ЭИЛ.

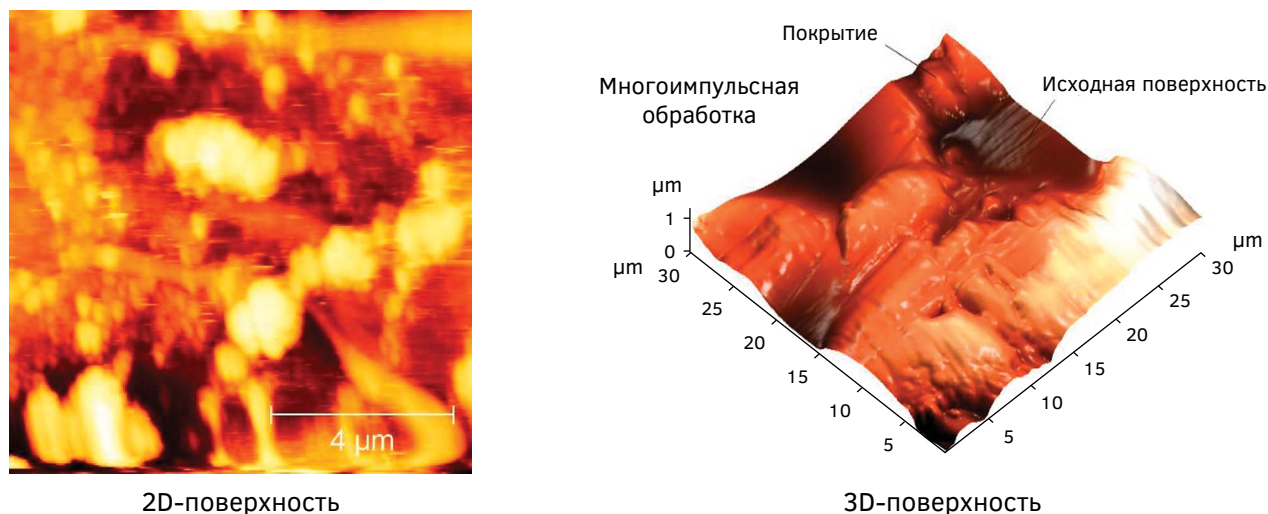


Рис. 3. Топография поверхности стального образца, обработанного электродом состава 50% WC-Co и 50% Ni-Cr-B-Si на режимах: $U = 160$ В; $C = 240$ мкФ ($E = 3,07$ Дж)

Fig. 3. Topography of surface of steel sample treated with electrode of composition 50% WC-Co and 50% Ni-Cr-B-Si in modes: $U = 160$ V; $C = 240$ μ F ($E = 3.07$ J)

Экспериментальные результаты по технологическим режимам и полученным средним значениям силы адгезии представлены в таблице 2 для каждого из восьми опытов при максимальных и минимальных значениях независимых факторов. Выбор интервалов варьирования для X_1 и X_2 осуществлялся с учетом пределов регулирования параметров установки ЭИЛ.

На основе анализа экспериментальных результатов получено уравнение регрессии в следующем виде:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_{12} + b_{13}X_{13} + b_{23}X_{23} + b_{123}X_{123}$$

В данной задаче фигурируют три фактора ($K = 3$), поэтому количество опытов полного факторного

эксперимента составляет $N = 2^3 = 8$. Вычисленные коэффициенты регрессии представлены в таблице 3.

Для исследуемого параметра Y получено уравнение регрессии следующего вида:

$$Y = 74,79 + 17,21X_1 - 27,29X_2 + 12,29X_3 - 0,71X_1X_2 + 14,71X_1X_3 + 0,21X_2X_3 + 6,79X_1X_2X_3$$

Проверку значимости коэффициентов регрессии осуществляли по критерию Стьюдента. Эта проверка показала, что коэффициенты b_{12} , b_{23} , b_{123} являются незначимыми. Поэтому уравнение регрессии для параметра сила адгезии Y окончательно приняло следующий вид:

$$Y = 74,79 + 17,21X_1 - 27,29X_2 + 12,29X_3 + 14,71X_1X_3$$

Таблица 2. Условия эксперимента и результаты испытаний стали 45, обработанной электроискровым легированием
Table 2. Experimental Conditions and Test Results of Electro-Spark Alloyed Steel 45

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
Напряжение, В (X_1)	80	120	80	120	80	120	80	120
Емкость, мкФ (X_2)	14	14	120	120	14	14	120	120
Время обработки, мин (X_3)	3	3	3	3	2	2	2	2
Сила адгезии, нН (Y)	88,3	140	22	98	80	100	40	30

Таблица 3. Коэффициенты уравнения регрессии
Table 3. Regression equation coefficients

$b_0 = 74,79$	$b_2 = -27,29$	$b_{12} = -0,71$	$b_{23} = 0,21$
$b_1 = 17,21$	$b_3 = 12,29$	$b_{13} = 14,71$	$b_{123} = 6,79$

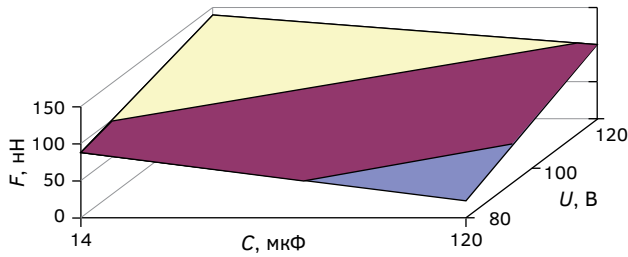


Рис. 4. Поверхность отклика для параметра оптимизации (сила адгезии) с обработкой ЭИЛ электродом состава 50% WC-Co и 50% Ni-Cr-B-Si

Fig. 4. Response surface for optimization parameter (adhesion force) with 50% WC-Co and 50% Ni-Cr-B-Si treatment with EIL electrode

Чтобы визуализировать взаимосвязь технологических параметров ЭИЛ с силой адгезии, построены поверхности отклика (рис. 4).

На основании анализа полученных результатов были сформулированы выводы о влиянии технологических режимов ЭИЛ (напряжение, емкость, время обработки) на силу адгезионного взаимодействия между поверхностями: 1) характер зависимости силы адгезии от напряжения в искровом импульсе и времени обработки — линейный и прямо пропорциональный; 2) характер зависимости силы адгезии от емкости конденсаторов — линейный и обратно пропорциональный; 3) наряду с указанными линейными эффектами выявлено влияние взаимодействия напряжения и времени обработки, что является значимым при определенных комбинациях технологических режимов ЭИЛ; 4) характер зависимости силы адгезии от напряжения и времени обработки — линейный, прямо пропорциональный.

С учетом результатов регрессионного анализа и построения поверхностей отклика выполнено на обработку ЭИЛ образцов на режимах $U = 80$ В;

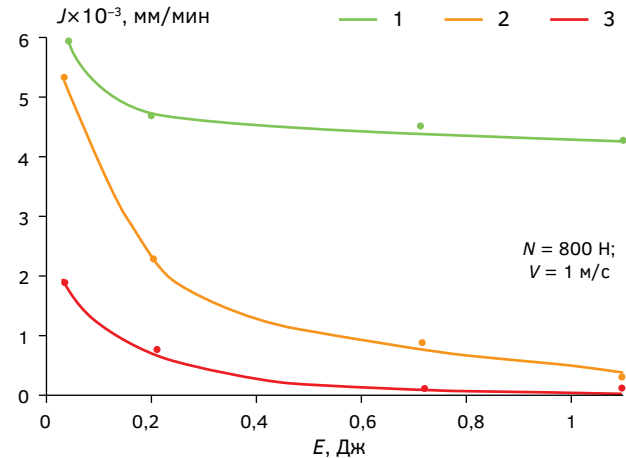


Рис. 5. Зависимость скорости изнашивания от энергии в импульсе: 1 — воздух; 2 — CO_2 ; 3 — O_2 ; N — контактное давление; V — скорость скольжения

Fig. 5. Dependence of wear rate on energy in pulse: 1 — air; 2 — CO_2 ; 3 — O_2 ; N — contact pressure; V — sliding speed

$C = 120$ мкФ; $t = 2$ мин в различных газовых средах и проведены трибологические испытания на стандартной машине трения 2070-CMT-1. Результаты влияния энергии в импульсе (E , Дж) и газовой технологической среде на скорость изнашивания покрытий (J , мм/мин) представлены на рисунке 5.

Таким образом установлено, что наибольший эффект по увеличению износостойкости сформированных покрытий получен при электроискровом легировании в кислородсодержащей среде на технологических режимах: $U = 80$ В; $C = 120$ мкФ; $t = 2$ мин электродом состава 50% WC-Co и 50% Ni-Cr-B-Si. В данных условиях реализации технологии ЭИЛ скорость изнашивания покрытия, сформированного на стальных поверхностях, минимальна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаркунов Д.Н., Корник П.И. Виды трения и износа. Эксплуатационные повреждения деталей машин. М.: МСХА, 2003. 344 с.
2. Иванов В.И. О путях повышения эффективности и универсальности электроискрового легирования // Упрочняющие технологии и покрытия. 2019. Т. 15. № 9 (177). С. 404—411.
3. Иванов В.И., Верхотуров А.Д., Коневцов Л.А. Методологические аспекты применения электроискрового легирования. Часть 1. Методология исследования упрочнения и восстановления деталей, получения электроискровых покрытий // Технический сервис машин. 2019. № 2 (135). С. 158—169.
4. Инновационные материалы и технологии: достижения, проблемы, решения. Школа-семинар по фундаментальным основам создания инновационных материалов и технологий: мат.-лы Междунар. науч.-техн. конф. В 2-х частях. Ч. 1. Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2013. 379 с.
5. Коневцов Л.А., Филонников А.Л., Ринчинова С.В. Становление материаловедения поверхности и методологическая схема упрочнения поверхностей электроискровым легированием // Символ науки: международный научный журнал. 2019. № 1. С. 23—33.
6. Коротаев Д.Н., Иванова Е.В., Худякова О.Д. Управление качеством формирования износостойких покрытий // Вестник КНАГТУ. 2022. № 1. С. 88—97.

- стойких поверхностных слоев методом электроискрового легирования // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2015. № 5 (218). С. 34—37.
7. Коротаев Д.Н., Машков Ю.К., Алимбаева Б.Ш. Влияние материала легирующего электрода на фазовый состав и толщину покрытия при электроискровой обработке // Динамика систем, механизмов и машин. 2012. № 2. С. 371—374.
 8. Коротаев Д.Н., Машков Ю.К. и др. Влияние электроискрового легирования стальных образцов на уровень их адгезионного взаимодействия // Трения и смазка в машинах и механизмах. 2008. № 7. С. 17—20.
 9. Логанина В.И. Федосеев А.А. Инструменты качества: учебное пособие. М.: Книжный дом «Университет», 2008. 142 с.
 10. Пенкин Н.С., Капралов Е.П., Маляров П.В. и др. Повышение износостойкости горно-обогатительного оборудования / Под ред. Н.С. Пенкина. М.: Недра, 1992. 264 с.
 11. Поветкин В.В., Татыбаев М.К., Альпеисов А.Т. и др. Основные показатели работы грунтовых насосов и износ рабочих деталей насоса // Актуальные вопросы технических наук в современных условиях: сборник науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. 2015. С. 113—119.
 12. Fauchais P., Vardell A. Innovative and emerging processes in plasma spraying: from micro-to nano-structured coatings // J. Phys. D: Appl. Phys. 2011. Vol. 44. P. 194011.
 13. [https://www.neftegazexpo.ru/common/img/uploaded/exhibitions/neftegaz/doc_2018/](https://www.neftegazexpo.ru/common/img/uploaded/exhibitions/neftegaz/doc_2018/Neftegaz_Digest_2018.03(10).pdf) Neftegaz_Digest_2018.03(10).pdf (дата обращения: 24.06.2022)
 14. <https://os1.ru/article/23040-kratkiy-obzor-gornodobyvayushchego-oborudovaniya-trudyagidobytchiki> (дата обращения: 24.06.2022)
 15. <https://poisk-ru.ru/s36124t3.html> (дата обращения: 24.06.2022)
 16. Korotaev D.N. and others. Formation of wear nanostructural topocomposite coating on metal materials by ion-plasma processing // В сб.: Journal of Physics: Conference Series. 2018. С. 012037.
 17. Korotaev D.N. et al. Structural-morphological features and fretting resistance of nanostructured topocomposites formed by ion-plasma modification // В сб.: Journal of Physics: Conference Series. Mechanical Science and Technology Update. 2019. С. 062013.
 18. Korotaev D.N. et al. Peculiarities of wear of nanostructured topocomposites on the hard-alloy basis // В сб.: Journal of Physics: Conference Series. electronic collection. 2020. С. 012008.
 19. Savinkin V.V., Kolisnichenko S.N., Ivanova O.V., Zhumekenova Z.Z., Sandu A.V., Vizureanu P. Investigation of the strength parameters of drilling pumps during the formation of contact stresses in gears // Applied Sciences (Switzerland). 2021. V. 11. № 15. 7076. <https://doi.org/10.3390/app11157076>
 20. Zhumekenova Z.Z., Savinkin V.V., Kolisnichenko S.N. On the issue of advanced technologies for restoring wear surfaces // Вестник Казахского национального технического университета им. К.И. Сатпаева. 2020. Т. 2. С. 170.

REFERENCES

1. Garkunov D.N., Kornik P.I. Types of friction and wear. Operational damage to machine parts. Moscow: MCXA, 2003. 344 p.
2. Ivanov V.I. On ways to increase the efficiency and versatility of spark doping//Strengthening technologies and coatings. 2019. V. 15. No. 9 (177). P. 404—411.
3. Ivanov V.I., Verkhuturov A.D., Konevtsov L.A. Methodological aspects of the use of electric spark doping. Part 1. Methodology for the study of hardening and restoration of parts, production of electric spark coatings // Technical service of machines. 2019. No. 2 (135). P. 158—169.
4. Innovative materials and technologies: achievements, problems, solutions. School-seminar on the fundamental basics of creating innovative materials and technologies: materials of the International Scientific and Technical Conference. In 2 parts. P. 1. Komsomolsk-on-Amur: FSBEI HPE “KnAGTU”, 2013. 379 p.
5. Konevtsov L.A., Filonnikov A.L., Rinchinova S.V. Formation of surface materialology and methodological scheme for strengthening surfaces by electric spark doping // Symbol of science: international scientific journal. 2019. No. 1. P. 23—33.
6. Korotaev D.N., Ivanova E.V., Hudyakova O.D. Management of quality of wear-resistant surface layers formation by electric spark alloying method // Reference book. Engineering log with attachment. 2015. № 5 (218). P. 34—37.
7. Korotaev D.N., Mashkov Yu.K., Alimbaeva B.Sh. Influence of alloying electrode material on phase composition and coating thickness during electric spark processing // Dynamics of systems, mechanisms and machines. 2012. No. 2. P. 371—374.
8. Korotaev D.N., Mashkov Yu.K., et al. Influence of electric spark alloying of steel samples on the level of their adhesion interaction // Friction and lubrication in machines and mechanisms. 2008. No. 7. P. 17—20.
9. Loganina V.I. Fedoseev A.A. Quality tools: textbook. Moscow: Book House University, 2008. 142 p.
10. Penkin N.S., Kapralov E.P., Malyarov P.V., et al. Improvement of wear resistance of mining and processing equipment Moscow: Nedra, 1992. 264 p.
11. Povetkin V.V., Tatybaev M.K., Al'peisov A.T., et al. Main indicators of soil pumps operation and wear of pump working parts // Actual issues of technical sciences in modern conditions: collection of scientific tr. following the results of international scientific practice. conf. 2015. P. 113—119.
12. Fauchais P., Vardell A. Innovative and emerging processes in plasma spraying: from micro-to

- nano-structured coatings // J. Phys. D: Appl. Phys. 2011. Vol. 44. P. 194011.
13. <https://os1.ru/article/23040-kratkiy-obzorgornodobyvayushchego-oborudovaniya-trudyagidobytchiki> (date of application: 24.06.2022)
 14. <https://os1.ru/article/23040-kratkiy-obzorgornodobyvayushchego-oborudovaniya-trudyagidobytchiki> (date of application: 24.06.2022)
 15. <https://poisk-ru.ru/s36124t3.html> (date of application: 24.06.2022)
 16. Korotaev D.N., et al. Formation of wear nanostructural topocomposite coating on metal materials by ion-plasma processing // In the collection: Journal of Physics: Conference Series. 2018. P. 012037.
 17. Korotaev D.N., et al. Structural-morphological features and fretting resistance of nanostructured topocomposites formed by ion-plasma modification // In the collection: Journal of Physics: Conference Series. Mechanical Science and Technology Update. 2019. P. 062013.
 18. Korotaev D.N., et al. Peculiarities of wear of nanostructured topocomposites on the hard-alloy basis // In the collection: Journal of Physics: Conference Series. electronic collection. 2020. P. 012008.
 19. Savinkin V.V., Kolisnichenko S.N., Ivanova O.V., Zhumekenova Z.Z., Sandu A.V., Vizureanu P. Investigation of the strength parameters of drilling pumps during the formation of contact stresses in gears // Applied Sciences (Switzerland). 2021. V. 11. № 15. 7076. <https://doi.org/10.3390/app11157076>
 20. Zhumekenova Z.Z., Savinkin V.V., Kolisnichenko S.N. On the issue of advanced technologies for restoring wear surfaces // Bulletin of the Kazakh National Technical University named after K.I. Satpayev. 2020. V. 2. P. 170.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Коротаев Д.Н. — инициация работы, постановка цели и задач, электроискровое легирование стальных образцов, атомно-силовая микроскопия, трибологические испытания, анализ результатов. Согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Иванова Е.В. — разработка причинно-следственной диаграммы, регрессионный анализ, обработка результатов эксперимента, анализ результатов, оформление работы. Согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Dmitry N. Korotaev — initiation of work, setting the goal and tasks, electric spark alloying of steel samples, atomic force microscopy, tribological tests, analysis of results. I agree to accept responsibility for all aspects of the work.

Elena V. Ivanova — development of a causal diagram, regression analysis, processing of experimental results, analysis of results, registration of work. I agree to accept responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

Коротаев Дмитрий Николаевич — доктор технических наук, профессор кафедры механики и инженерной графики ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., Москва 117997, Россия

E-mail: korotaevdn@mgri.ru

Тел.: +7 (929) 362-82-13

SPIN-код: 6607-4877

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5957-4135>

Dmitry N. Korotaev — Dr. of Sci. (Tech.), Prof. of Department of Mechanics and Engineering Graphics of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

E-mail: korotaevdn@mgri.ru

Tel.: +7 (929) 362-82-13

SPIN-code: 6607-4877

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5957-4135>

Иванова Елена Владимировна* — кандидат технических наук, доцент кафедры общей физики ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., Москва 117997, Россия

E-mail: elenaivanova-01@mail.ru

Тел.: +7 (923) 769-77-35

SPIN-код: 5093-2970

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1107-0533>

Elena V. Ivanova* — Cand. of Sci. (Tech.), Associate Professor of Departments of General Physics of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

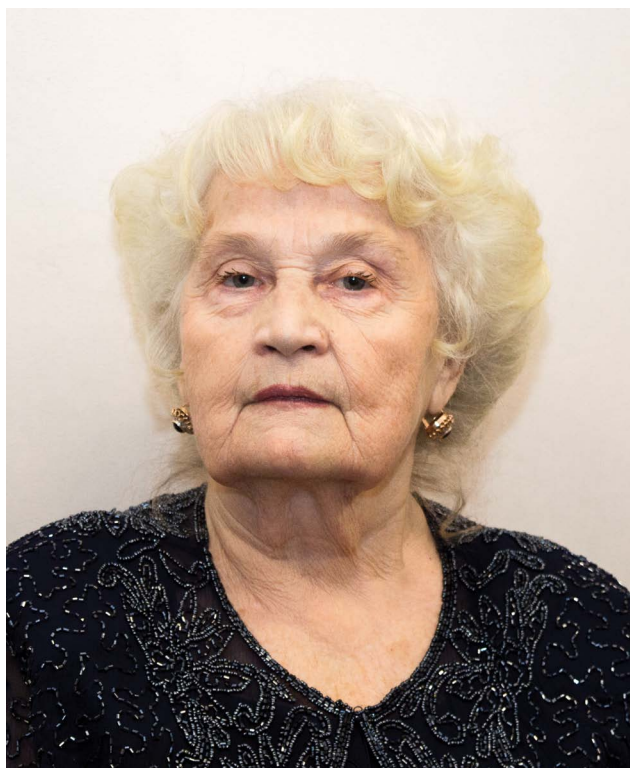
E-mail: elenaivanova-01@mail.ru

Tel.: +7 (923) 769-77-35

SPIN-code: 5093-2970

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1107-0533>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ЛЮДМИЛА
АЛЕКСАНДРОВНА
ЯРГ

(К 85-ЛЕТИЮ
СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

профессор кафедры инженерной геологии,
доктор геолого-минералогических наук

Людмила Александровна Ярг — одна из известных ученых, посвятивших свою жизнь исследованиям в области инженерной геологии и геоэкологии. Доктор геолого-минералогических наук, профессор МГРИ, почетный член Ученого совета МГРИ. Л.А. Ярг более 60 лет занимается изучением функционирования сложных природно-технических систем в различных регионах мира, хотя главным направлением исследований всегда оставалось изучение особенностей выветривания горных пород в различных природно-климатических условиях.

Л.А. Ярг родилась 28 июля 1937 года в Ленинграде, но практически вся ее жизнь с 1939 года оказалась связана с Москвой. Здесь она окончила музыкальную и общеобразовательную школу с серебряной медалью, что позволило поступить в МГРИ без экзаменов. Еще студенткой Л.А. Ярг принимала участие в научно-исследовательских работах кафедры инженерной геологии МГРИ на территории Сталинграда (1957—1958 гг.) под руководством Степана Валериановича Дроздова.

Получив в 1959 г. диплом горного инженера-гидрогеолога, Л.А. Ярг начала работать во 2-м Гидрогеологическом управлении (ГГУ) в составе Московской оползневой станции под руководством В.В. Кюнтцеля. С 1961 г. она перешла в Экспедицию 10-го района 2-го ГГУ и пять лет работала над решением инженерно-геологических проблем строительства оборонных сооружений на Новой Земле (инженерно-геологические изыскания для расширения аэродрома для тяжелых самолетов, инженерно-геологическая съемка территории поселка Белушья Губа) и в Казахстане (инженерно-геологические изыскания в Тургайском прогибе для размещения ракетных установок).

В 1967 г. Л.А. Ярг поступила в аспирантуру кафедры инженерной геологии МГРИ, где под руководством Николая Васильевича Коломенского в 1970 г. защитила кандидатскую диссертацию на тему «Исследование изменчивости физико-технических свойств выветрелых пород в инженерно-геологических целях». С тех пор изучение

проблем выветривания прочно закрепилось в сфере научных интересов Людмилы Александровны.

С 1970 года ее жизнь неразрывно связана с кафедрой инженерной геологии. В течение всего периода времени (стаж работы в университете 55 лет, общий стаж — 63 года) Людмила Александровна Ярг активно занимается преподавательской, научно-исследовательской и общественной деятельностью.

Профессор Л.А. Ярг является создателем и главой научной школы, исследующей процесс выветривания горных пород на базе разработанной ею общей теории процесса выветривания и теории температурно-влажностных классов кор выветривания горных пород различных континентов земного шара. В разные годы в созданные Людмилой Александровной тематические научные коллективы входили Г.С. Белова, Л.Б. Артемьева, М.А. Макеичева, В.М. Кувшинников, А.Н. Хацкевич, О.Е. Вязкова, Е.Н. Иерусалимская и многие другие.

Под руководством профессора Л.А. Ярг в Российском государственном геологоразведочном университете в течение ряда лет проводились фундаментальные исследования по теме «Коры выветривания земного шара». В рамках решения проблемы завершены научные разработки по выявлению закономерностей размещения и строения кор выветривания Евро-Азиатского, Африканского и Австралийского континентов. Впервые в мировой практике составлены карты температурно-влажностных классов кор выветривания этих континентов и пояснительные записки к ним. Карты являются основой прогнозирования местонахождения неизвестных экзогенных месторождений (бокситовых, никеленосных, каолиновых), а также планирования хозяйственной деятельности. Учениками ее научной школы являются специалисты РФ, а также ряда других государств (Болгарии, Индии, Узбекистана, Вьетнама, Шри Ланки, Непала, Кот-д'Ивуара и др.). Теоретические разработки Л.А. Ярг нашли отражение в целом ряде монографий: «Инженерно-геологическое изучение процесса выветривания», «Методика изучения процесса и кор выветривания», «Изменение физико-механических свойств пород в процессе выветривания» и др.

Огромный опыт и накопленный фактический материал позволили подойти к написанию и успешной защите в 1986 г. докторской диссертации на тему «Формирование состава, структурно-текстурных особенностей и свойств грунтов в процессе выветривания: эксперимент, теория, практика».

Теоретические положения получили практическое применение в ряде работ профессора Л.А. Ярг, таких как методические руководства по изучению и прогнозированию инженерно-геологических и гидрогеологических условий разработки полиметаллических месторождений Южного Урала и Рудного Алтая и железорудных месторождений Хингана. В них рассмотрены оригинальные методики изучения современных и древних кор выветривания и прогнозирования их строения, состава и свойств. Методики широко используются при геологических исследованиях, выполняемых региональными организациями Урала и Алтая. Они обеспечивают рациональное использование недр и безаварийную эксплуатацию месторождений с соблюдением требуемых экологических критериев.

Во второй половине 1990-х годов Л.А. Ярг сделала акцент на исследовании ряда экологических проблем: проведен анализ последствий разработки Краснокаменского уранового месторождения в Читинской области, а также тридцатилетней эксплуатации нефтебаз Липецка, Воронежа, Мценска и Брянска. Ею составлены компьютерные модели распространения нефтяных загрязнений, предложены проекты мониторинга, обеспечивающие контроль состояния окружающей среды и ее оптимальное управление, а кроме того, разработаны принципы составления карт устойчивости геологической среды к техногенным воздействиям.

В качестве эксперта и непосредственного исполнителя Л.А. Ярг принимала участие в инженерно-геологических работах для обоснования проектов уникальных сооружений: УНК (ускорительно-накопительный комплекс) в Протвино, МГДС (Магнитогидродинамической станции) в Рязани, крупнейшего в Юго-Восточной Азии гидроузла Хао-Бинь во Вьетнаме и др.

Параллельно с собственной научной работой Л.А. Ярг ведет многолетнюю активную педагогическую деятельность на кафедре инженерной геологии МГРИ. Многие поколения студентов отмечают высочайший уровень подготовки материалов, с которыми их знакомила Людмила Александровна во время лекционных и практических занятий по очень разным по своей сути дисциплинам: «Региональная инженерная геология», «Мерзотоведение», «Грунтоведение», «Инженерная геология и гидрогеология месторождений полезных ископаемых». Ее перу принадлежит многочисленная учебная и методическая литература. Это прежде всего учебники

ЮБИЛЕЙ / ANNIVERSARY

(«Инженерно-геологические изыскания», 2007, 2011 гг.); учебные пособия («Инженерная геодинамика», 2007, 2015 гг.; «Методы и качество лабораторного изучения грунтов», 2008 г.) и методические руководства (более 10 наименований, в том числе «Методическое руководство по инженерно-геологическим исследованиям рудных месторождений при их разведке», 2002 г.).

Л.А. Ярг является автором более 100 статей, 20 учебников (в соавторстве) и учебных пособий, 6 монографий.

Ценность передаваемых ею знаний заключается в огромном опыте, полученном не только напрямую при работе на конкретных объектах, но и, можно сказать, попутно в процессе многочисленных ту-

ристических поездок по разным странам и континентам.

Этот разносторонний опыт позволил Л.А. Ярг успешно выпустить 10 аспирантов, многие из которых представляли зарубежные государства (Индию, Шри-Ланку, Вьетнам, Кот-д'Ивуар, Таджикистан), около сотни дипломников разных форм обучения: специалистов, бакалавров и магистров, часть которых также являются представителями иностранных государств (Вьетнам, Гвинея, Мьянма, Конго и др.).

За многолетнюю плодотворную научно-педагогическую работу Людмила Александровна награждена званием «Почетный работник высшего образования Российской Федерации» и орденом «За заслуги перед Отечеством» 2-й степени.

Коллективы кафедры инженерной геологии, гидрогеологического факультета и ректората МГРИ сердечно поздравляют юбиляра и желают Людмиле Александровне Ярг дальнейших успехов в творческой и педагогической деятельности.

