

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

2022

Том 64, № 3
Vol. 64, #3

PROCEEDINGS OF HIGHER
EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY AND EXPLORATION

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

3

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, № 3
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 (MGRI)

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY
AND
EXPLORATION
Scientific methodological journal

Vol. 64, No. 3
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	17.10.2022
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

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	17.10.2022
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

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

- 8** **МИКРОБИАЛЬНЫЕ КАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ — СОСТАВ, СТРУКТУРЫ, ТЕКСТУРЫ, МЕХАНИЗМЫ И ОБСТАНОВКИ ОБРАЗОВАНИЯ. ВОЗНИКНОВЕНИЕ УЧЕНИЯ О МИКРОБИАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ И ИХ ФОРМАХ. СТАТЬЯ 1**

В.Г. КУЗНЕЦОВ, Л.М. ЖУРАВЛЕВА

ГЕОЭКОЛОГИЯ

- 19** **«ГОРЯЧИЕ ПЯТНА» ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА И ПРОБЛЕМЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ**

В.Б. СВАЛОВА

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

- 35** **КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ В КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ РИФЕЯ ЗАПАДНОГО ОБРАМЛЕНИЯ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (НА ПРИМЕРЕ АЛАДЬИНСКОЙ СВИТЫ)**

Е.С. НОСКОВА, Г.В. АГАФОНОВА

- 47** **УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЛОВУШЕК И ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ И ГАЗА В ЗАПАДНОЙ ТУРКМЕНИИ**

У.С. СЕРИКОВА, М.А. АЛЛАНАЗАРОВА, Е.С. НЮРЕНБЕРГ

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

- 59** **МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ТЕРРИГЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ЛЕССОВЫХ И ГЛИНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОЙ МОНГОЛИИ**

Т.Г. РЯЩЕНКО

- 74** **ОБ ОЦЕНКЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ДАВЛЕНИЙ ПРИ РАСЧЕТАХ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ**

Д.Н. ГОРОБЦОВ, И.К. ФОМЕНКО, М.А. НОВГОРодОВА, О.Н. СИРОТКИНА

- 85** **ОПОЛЗНИ И ПРОВАЛЫ В КАРСТОВОЙ СРЕДЕ В РАЙОНЕ РЕКИ УФЫ**

Н.А. ОРЛОВА

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

- 94** **О КНИГЕ «ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ»**

В.Н. КОМАРОВ, С.А. САМОХВАЛОВ

MINERALOGY, PETROGRAPHY, LITHOLOGY

- 8 MICROBIAL CARBONATE ROCKS: COMPOSITION, STRUCTURES, TEXTURES, MECHANISMS AND ENVIRONMENTS OF FORMATION. EMERGENCE OF THE DOCTRINE OF MICROBIAL FORMATIONS AND THEIR FORMS. ARTICLE 1**

VITALY G. KUZNETSOV, LILIYA M. ZHURAVLEVA

GEOECOLOGY

- 19 “HOT SPOTS” OF GEOECOLOGICAL RISK AND PROBLEMS OF TERRITORIAL PLANNING**

VALENTINA B. SVALOVA

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

- 35 KINEMATIC INDICATORS IN RIPHEAN CARBONATE ROCKS OF THE SIBERIAN PLATFORM WESTERN FRAMING (ON THE EXAMPLE OF THE ALAD’INSKAYA FORMATION)**

EKATERINA S. NOSKOVA, GALINA V. AGAFONOVA

- 47 CONDITIONS FOR THE FORMATION OF TRAPS AND OIL AND GAS DEPOSITS IN WESTERN TURKMENISTAN**

ULYANA S. SERIKOVA, MEHRIBAN A. ALLANAZAROVA, EKATERINA S. NYURENBERG

HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY

- 59 MINERAL COMPOSITION OF TERRIGENOUS COMPONENTS IN LOESS AND CLAY DEPOSITS OF WESTERN MONGOLIA**

TAMARA G. RYASHCHENKO

- 74 ESTIMATION OF LANDSLIDE PRESSURES IN SLOPE STABILITY CALCULATIONS**

DENIS N. GOROBTSOV, IGOR K. FOMENKO, MARGARITA A. NOVGORODOVA, OLGA N. SIROTKINA

- 85 LANDSLIDES AND SINKHOLES OF THE KARST ENVIRONMENT IN THE VICINITY OF THE UFA RIVER**

NADEZHDA A. ORLOVA

CRITICS AND BIBLIOGRAPHY

- 94 ON THE TEXTBOOK “GENETIC ANALYSIS OF TERRIGENOUS DEPOSITS”**

VLADIMIR N. KOMAROV, SERGEY A. SAMOKHVALOV



МИКРОБИАЛЬНЫЕ КАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ — СОСТАВ, СТРУКТУРЫ, ТЕКСТУРЫ, МЕХАНИЗМЫ И ОБСТАНОВКИ ОБРАЗОВАНИЯ. ВОЗНИКНОВЕНИЕ УЧЕНИЯ О МИКРОБИАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ И ИХ ФОРМАХ. СТАТЬЯ 1

В.Г. КУЗНЕЦОВ^{1,2}, Л.М. ЖУРАВЛЕВА^{1,*}

¹ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»
65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия

²ФГБУН «Институт проблем нефти и газа Российской академии наук»
3, ул. Губкина, г. Москва 119333, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Представления о влиянии бактерий на минералообразование, и прежде всего на формирование карбонатных отложений появились в конце XIX века, в том числе среди российских геологов. Было показано, что осаждение материала происходит непосредственно на стадии седиментации, а также продолжается и в осадке в процессах диагенеза. В настоящее время это направление в мировой науке активно развивается. Составные части пород, а также и сами породы, созданные в результате жизнедеятельности бактериальных форм, получили самостоятельное название «биоседиментарные структуры» или «микробиолиты».

Цель. В данной работе приводится результат некоторого обобщения и систематизации накопленного материала, посвященного исследованиям подобных форм.

Материалы и методы. Исследовались карбонатные породы разного возраста — от венда и нижнего кембрия Сибирской платформы до неогена Крыма и осадков современных океанов, с использованием макроскопических и, главным образом, микроскопических методов изучения и описания конкретных объектов, литературный материал. В первой статье рассматриваются основные морфологические типы подобных образований карбонатного состава как в виде отдельных структурных компонентов осадка-породы, так непосредственно самих пород со своеобразными структурными характеристиками.

Результаты. Выделены и охарактеризованы две основные морфологические группы микробиолитов карбонатного состава. Образования первой группы представляют собой обособленные и самостоятельные формы карбонатного материала, как кальцитового, так и высокомагнезиального — доломитового и даже чисто магнезитового состава. В составе представителей этого типа минерализованные остатки собственно бактериальных форм в виде кокколлитов, трубочек, нитевидных форм, а также пластинчатые и листоватые структуры — минерализованные следы гликокаликса. В этой же группе давно известные литологам изолированные карбонатные объекты: оолиты, онколиты, микросгустки пелитоморфного карбонатного материала, тромболиты, по-видимому, такие специфические образования, как тубифиты и т. д. Вторая группа — это слоистые формы в виде строматолитов, со своей внутренней структурой, а также минерализованные микробиальные пленки, маты со своей сложной структурой и др.

Выводы. В подавляющем большинстве случаев микробиолиты формируются на стадии седиментации, их морфология и тип микробиолитов определяются конкретными палеогеографическими и палеоклиматическими условиями.

Ключевые слова: бактериальные формы, микробиолиты, оолиты, онколиты, строматолиты

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Кузнецов В.Г., Журавлева Л.М. Микробиальные карбонатные породы — состав, структуры, текстуры, механизмы и обстановки образования. Возникновение учения о микробиальных образованиях и их формах. Статья 1. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(3):8—18. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-8-18>

Статья поступила в редакцию 16.07.2020

Принята к публикации 21.09.2022

Опубликована 17.10.2022

* Автор, ответственный за переписку

MICROBIAL CARBONATE ROCKS: COMPOSITION, STRUCTURES, TEXTURES, MECHANISMS AND ENVIRONMENTS OF FORMATION. EMERGENCE OF THE DOCTRINE OF MICROBIAL FORMATIONS AND THEIR FORMS. ARTICLE 1

VITALY G. KUZNETSOV^{1,2}, LILIYA M. ZHURAVLEVA^{1,*}

¹ Gubkin University

65, Leninsky ave., Moscow 119991, Russia

² Oil and Gas Research Institute of RAS

3, Gubkin str., Moscow 119333, Russia

ABSTRACT

Introduction. Concepts describing bacterial effects on mineral formation and, first of all, on the formation of carbonate deposits, started to appear late in the 19th century both in Russia and globally. The precipitation of materials was demonstrated to take place directly at the sedimentation stage and continue in the formed precipitate during diagenetic processes. Research in this direction has recently intensified. Rocks and their constituent parts formed as a result of bacterial activity have been referred to as “biosedimentary structures” or “microbiolites”.

Aim. The paper presents the results of generalization and systematization of accumulated research data on the abovementioned forms.

Materials and methods. In addition to literature materials, carbonate rocks of various ages – from the Vendian and Lower Cambrian of the Siberian platform to the Crimea Neogene and sediments of contemporary oceans – were examined using macro- and microscopic (mainly) methods of studying and describing specific objects. Article 1 considers the main morphological types of such carbonate formations, both in the form of individual structural components of sedimentary rocks and rocks themselves with peculiar structural characteristics.

Results. Two main morphological groups of carbonate microbiolites were identified and characterized. The first group represents individual and independent forms of carbonate material, both of calcite, highly magnesian-dolomite and even pure magnesite composition. This type includes mineralized precipitates of bacterial forms represented by coccolites, tubules, filaments, as well as by plate and sheet structures – mineralized glycolyx traces. In addition, this group features isolated carbonate objects, familiar to lithologists, including oolites, oncolites, microclusters of pelitic carbonate materials, thrombolites and, apparently, such specific formations as tubiphytes, etc. The second group includes laminated forms of stromatolites with their specific internal structure, as well as mineralized microbial films and mats with a complex structure, etc.

Conclusions. In the overwhelming majority of cases, microbiolites are formed at the sedimentation stage, and their morphology and type are determined by specific paleogeographic and paleoclimatic conditions.

Keywords: bacterial forms, microbiolites, oolites, oncolites, stromatolites

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

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

For citation: Kuznetsov V.G., Zhuravleva L.M. Microbial carbonate rocks: composition, structures, textures, mechanisms and environments of formation. Emergence of the doctrine of microbial formations and their forms. Article 1. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(3):8—18. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-8-18>

Manuscript received 16 July 2022

Accepted 21 September 2022

Published 17 October 2022

* Corresponding author

Становление и развитие учения о микробиальных образованиях

Начало научного исследования влияния микробиальной деятельности на осадочный процесс и, в частности, на карбонатонакопление относится к рубежу XIX и XX веков, причем работы, интересные геологам, проводились в основном микробиологами. Так, В.И. Вернадский неоднократно указывал, что знаменитый русский микробиолог С.Н. Виноградский в ряде работ последней четверти XIX века показал роль бактерий в образовании и преобразовании ряда осадочных минералов и пород [4, стр. 232 и др.].

В значительной степени пионерские работы в области геологической роли бактерий были проведены в нашей стране. Так, в глубоководных областях Черного моря Н.И. Андрусов обнаружил светлые комочки, сложенные карбонатом кальция, которые образуют прослойки того же цвета среди зеленоватых глинистых осадков. При микроскопическом изучении высушенные светлые осадки «...состоят из удлиненных зерен (наподобие пшеничных), поляризующих свет и иногда представляющих X-образные двойники» [1, стр. 392]. Образование карбонатов он связывал с жизнедеятельностью бактерий.

Позднее вводя лекцию к курсу «Геология» он посвятил взаимоотношениям геологии и бактериологии, поставив задачу показать «...геологическое значение бактерий и ту роль, которая выпадает на их долю в изменениях земной коры» [2, стр. 1].

В этой лекции Н.А. Андрусов указал, что «...механическая деятельность, по-видимому, чужда бактериям. Зато химическая деятельность необыкновенно обширна» [там же, стр. 1]. При этом он наметил ряд направлений влияния бактерий на геологические процессы, в частности на образование осадочных пород и осадочный процесс в целом. Это влияние проявляется уже на первых стадиях осадкообразования, которые сейчас

определяются как стадии образования осадочного материала, его переноса и далее — диагенеза: «...благодаря продуктам деятельности почвенных микробов происходит растворение составных частей почвы и подпочвы, разрыхление поверхностных частей земной коры, но вместе с тем перенесение и отложение вновь образовавшихся соединений на других местах земной поверхности или в море» [там же, стр. 17]; одновременно он подчеркивает, что «...именно в почвенном слое в атмосферную воду поступает главное количество растворителей, так как почвенные слои являются ареной необыкновенной деятельности разнообразнейших микробов, содержащихся в почве в огромных количествах индивидуумов» [там же, стр. 16].

Геологическая деятельность бактерий продолжается и позднее, в диагенезе: «...благодаря бактериям здесь (в морских осадках. — В.К., Л.Ж.) должны совершаться различные преобразования, в особенности же, вероятно, тот ряд изменений в осадках, которые Гюмбель и И. Вальтер называли диагенезом» [там же, стр. 18].

По Н.И. Андрусову, большую роль играли бактерии при образовании ряда серных месторождений и железных руд.

Обращаясь к описанным ранее карбонатным сгусткам глубоководных илов Черного моря, он добавляет и расширяет список морфологии этих образований: «...шарики, участки или тоненькие слойки порошкообразной углекислой извести» [там же, стр. 11] и приводит пример подобного ила в одном из шотландских заливов «...пропитанного клочковатым осадком CaCO_3 » [там же, стр. 13], еще раз подчеркивает, что «...продуктом жизнедеятельности бактерий... является образование карбонатов» [там же, стр. 11], и, что симптоматично, вводит понятие «бактериогенных осадков CaCO_3 » [там же, стр. 14].

Не так важно, что не все предложенные им конкретные механизмы бактериального

карбонатакопления получили подтверждение и развитие, важно, что Н.И. Андрусов если не первым, то, по крайней мере, одним из первых показал роль и значение бактериальной деятельности в осадочном процессе начиная от момента образования осадочного материала, включая его перенос и формирование тех или иных осадков, их преобразование в диагенезе, и, в частности, сформулировал понятие «бактериогенных» образований, в том числе карбонатных.

В начале XX века отечественный микробиолог Г.А. Надсон в осадках соляного озера — «лечебной грязи» обнаружил комочки известняка (точнее, карбоната кальция) или, скорее, доломита, так как они «не растворялись в уксусной кислоте, очень медленно растворялись в разведенной соляной кислоте... и быстро — в горячей» [13, стр. 85]. Позднее он поставил опыт с культурой бактерий *Proteus vulgaris*, и через 1,5 года в осадке появились шарики диаметром 1,5—2 мм, состоящие из карбонатов кальция и магния с преобладанием первого.

По ряду причин исследование бактериальной деятельности в геологических процессах в нашей стране было ограниченным, но уже в последней четверти двадцатого столетия работы этого плана получили достаточно широкое распространение, причем, как и ранее, в значительной степени вначале в среде микробиологов. Обстоятельное описание подобных форм, правда, среди других структурных элементов карбонатных пород, приведено в капитальной сводке сотрудников ВНИГНИ [3]. Следует, однако, подчеркнуть, что геологическое осмысление материала, как и ранее, проводилось микробиологами.

Возможно, одной из первых обобщающих работ, посвященных непосредственно геологической деятельности микробов, была книга С.И. Кузнецова, М.В. Иванова и Н.Н. Ляликовой, опубликованная в 1962 году [11]. Позднее в нашей стране работы в этом направлении вели академик Г.А. Заварзин и сотрудники его лаборатории в Институте микробиологии РАН — Л.М. Герасименко, В.К. Орлеанский и др., к которым присоединились сотрудники Института палеонтологии — А.Ю. Розанов, Г.Т. Ушатинская, Е.А. Жегалло, Л.В. Зайцева и др. [5—9, 15, 20].

Естественно, что если микробиологи больше внимания обращали на механизмы, способы воздействия микробиальной деятельности на осадочный процесс, то геологи и, в более узком значении, литологи концентрировались на обстановках, где эти процессы реализовывались, и на итоговые,

чисто вещественные и морфологические формы новообразований.

Применительно к осадочным образованиям подобного рода был введен термин «биоседиментарные структуры», или «микробиалиты», получивший широкое распространение. Авторы термина Роберт Бурне и Линда Мур определили его как «оргаоосадочные (органоседиментационные) образования, возникшие как результат деятельности донных микробиальных сообществ, улавливающих и связывающих частицы вещества и/или образующиеся в результате осаждения хемотропного материала» [18, стр. 241—242]. Следует обратить внимание на специфическое написание «биалиты», хотя корень этого термина «биос» — жизнь. Авторы настоящей статьи предпочитают использовать оригинальное написание от латинского *bios* — микробиолиты.

Так или иначе, проблема микробиолитов в полной мере вошла в сферу интересов и работ геологов. В значительной мере этому способствовало появление и достаточно широкое использование сканирующего электронного микроскопа, микронного анализа и другой прецизионной техники, которая позволила реально «увидеть» подобные объекты, изучить их состав, строение и взаимоотношения между собой. Другими словами, на микро- и ультрамикроуровне ныне возможно изучать три составные части, которые и определяют само существование осадочной горной породы: ее состав, структуру и текстуру. В целом два последних понятия нередко объединяются общим термином «строение породы», аналогом чему являются соответствующие иностранные термины *fabric* в английском языке и *das Gefüge* в немецком.

Использование упомянутой техники при изучении микробиальных образований обусловило становление некоей отдельной отрасли литологии, которую по аналогии с микробиальной палеонтологией [15] можно назвать микробиальной литологией.

Не ставя целью систематически классифицировать и описать все микробиальные структуры и разрешить терминологические разногласия, в первой статье кратко характеризуются основные, самые распространенные морфологические типы микробиальных образований карбонатного состава, то есть те, которые состоят из кальцита, доломита, в существенно меньшей степени из сидерита и магнезита, а во второй статье обсуждаются механизмы (процессы) и обстановки их образования.

Морфологические типы карбонатных микробиолитов

В первом, самом общем подходе все карбонатные микробиолиты можно объединить в две морфологические группы — во-первых, одиночные изолированные, пространственно обособленные формы и, во-вторых, слоистые образования.

В свою очередь, среди первых выделяются несколько видов — непосредственно минерализованные остатки собственно бактерий, а также оолиты, онколиты, микросгустки пелитоморфного карбоната.

По-видимому, наиболее распространенными среди первых являются остатки некоторых форм — округлые образования либо в виде единичных обособленных шариков диаметром 1—3 микрона,

либо сообщество подобных форм. Кроме того, встречаются трубочки, нитчатые фоссилии различной морфологии: прямолинейные, изгибающиеся, ветвящиеся и т. д. (рис. 1). Важное обстоятельство — карбонаты, содержащие подобные собственно литифицированные остатки бактериальных форм, представлены не обычными для карбонатных пород кристаллическими формами, а имеют листоватую, в лучшем случае пластинчатую морфологию. По-видимому, это продукты литификации пленок, выделяемых бактериями внеклеточной слизи — гликокаликса, о чем см. ниже (статья 2). Следует отметить, что подобные образования имеют не только карбонатный состав — описаны фосфатные, кремнистые и другие минеральные виды.

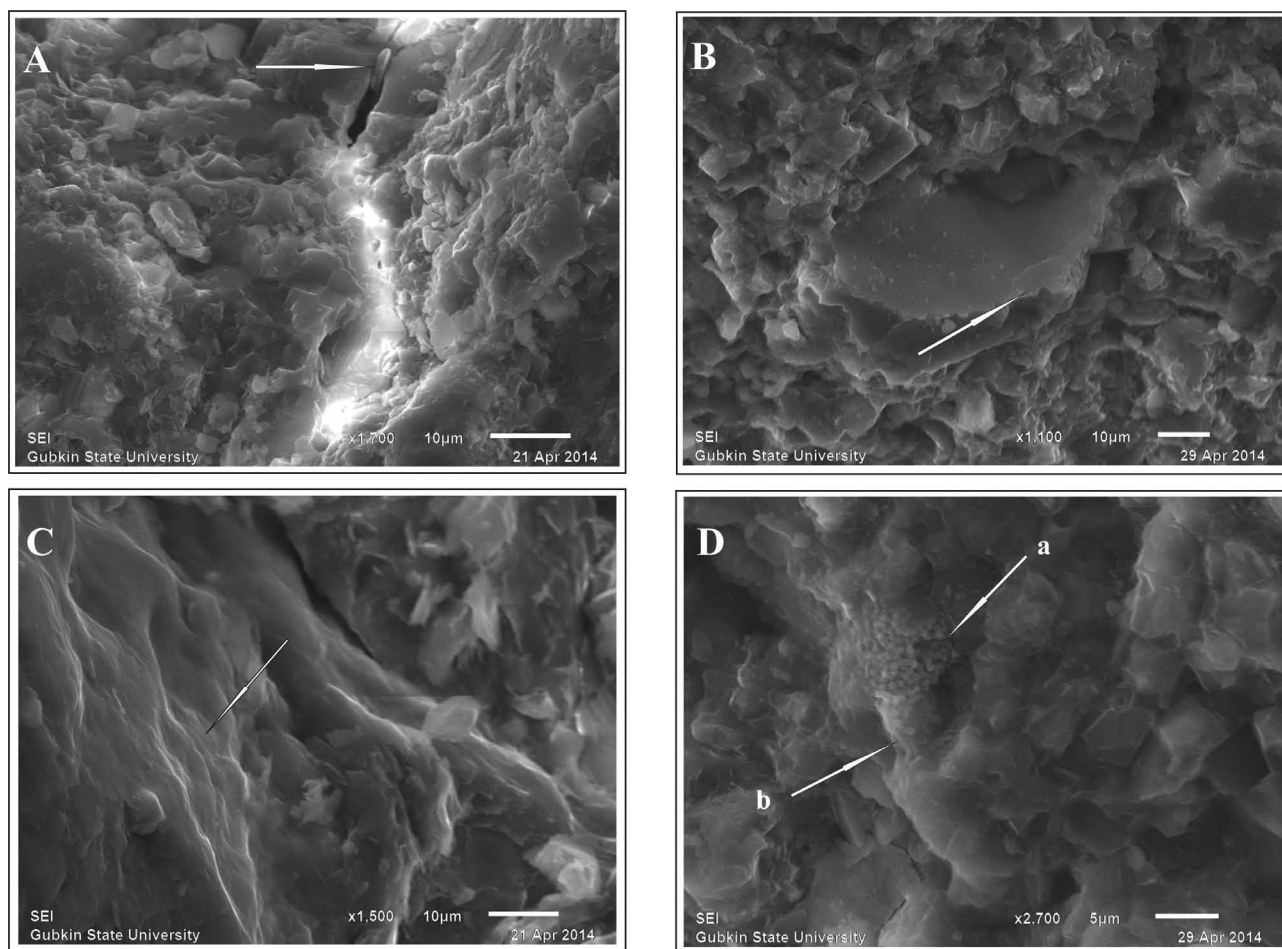


Рис. 1. Микробиальные формы и минерализованные биопленки: А — нитевидная форма цианобактерий; В — листоватая форма нахождения кальцита — вещественное выражение гликокаликса; С — минерализованные биопленки, покрывающие плотные ассоциации кокков; D — фрамбоидальное выделение пирита (а), венчающее остаток трубчатого организма (b). Нижний девон. Печорская синеклиза

Fig. 1. Microbial forms and mineralized biofilms: A — the filamentous form of cyanophytes; B — the leafy form of calcite — the material expression of glycocalyx; C — mineralized biofilms covering dense cocci associations; D — framboidal pyrite secretion (a) crowning the remainder of the tubular organism (b). Lower Devonian. Pechora syneclise

Среди следующих структурных форм широко развиты образования, названия которых из-за своей округлой формы в научной литологической литературе восходят к греческому названию *оо* — яйцо, *онкос* — нарост и т. д.

Вообще округлые карбонатные образования разного типа достаточно разнообразны, обзор подобного рода зерен приведен, например, в специальном сборнике [19].

Одной из самых распространенных и известных форм этой группы являются оолиты — округлые, нередко практически сферические, иногда овальные образования размером обычно менее 2 мм, имеющие своеобразное внутреннее строение. Как правило, это сочетание концентрических более светлых и более темных слоев пелитоморфного и микрозернистого карбоната и одновременно радиально ориентированных тончайших, по сути дела, волосных кристалликов кальцита. Нередко в центре оолита имеются зерна кварца или другого минерала, обломок раковинки, кристаллики кальцита и т. д. (рис. 2).

Еще одной формой изолированных и в целом округлых, овальных форм являются онколиты. По сравнению с оолитами их форма менее правильная, чаще и более отчетливо проявляется неправильное концентрическое внутреннее строение.

В качестве примера на рисунке 3 показаны онколитовые известняки берриаса — валанжи на района Кисловодска на Северном Кавказе.

В некоторых случаях внутри онколитов встречаются остатки раковин, вокруг которых образуются темные пленки пелитоморфного кальцита. Среди скелетных остатков раковины гастропод, пелеципод, членики криноидей (рис. 3 А—F).

В других случаях каких-либо включений, вокруг которых формировались онколиты, не установлено, однако концентрически слоистое строение наглядно проявляется практически всегда, отмечены «срастания» двух онколитов в один за счет обволакивания их едиными микробиальными каемками (рис. 3 G—I). Спецификой данных конкретных отложений является высокая степень их доломитизации.

Своеобразным, но достаточно широко распространенным видом изолированных микробиальных образований являются сгустки пелитоморфного карбоната, обычно кальцитового по составу. В отечественной литературе давно известны известняки микросгустковые, где отдельные, обычно округлые или овальные, стяжения цементируются яснокристаллическим кальцитом (рис. 4).

Размеры сгустков обычно составляют доли миллиметра. Строго говоря, не все сгустки микрозернистого и пелитоморфного карбоната являются микробиолитами. Аналогичные, близкие по форме фрагменты образуются при грануляции раковинок фораминифер, могут представлять фекалии других организмов, причем в большинстве случаев последние отличаются морфологией и внутренним строением самих сгустков. В зарубежной литературе сгустки пелитоморфного материала позже названы тромболитами (*τρομβολιθ* — сгусток, *λίθος* — камень) [17].

Микросгустки отечественных геологов, видимо, не являются полным аналогом тромболитов западных седиментологов. Первые, как только что отмечено, имеют обычно размеры менее 1 мм, в то время как тромболиты имеют поперечник до сантиметра и более, последние у нас описываются как комки и в целом комковато-сгустковые структуры карбонатной породы.

В группе округлых изолированных микробиальных образований следует указать онкоиды, хотя надо отметить, что характеристика этих форм и само выделение их как отдельных образований далеко не однозначно. Это тоже в целом округлые, овальные, но, как правило, значительно более

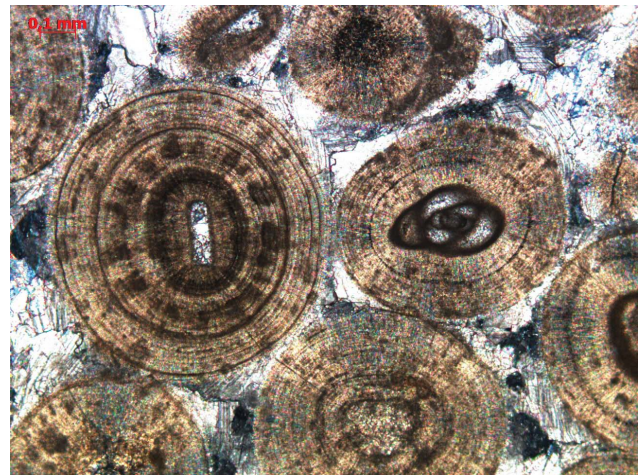


Рис. 2. Известняк оолитовый. Округлые или овальные формы с отчетливо концентрической и одновременно радиально-лучистой внутренней структурой. В ядрах оолитов раковинка фораминиферы (справа) и обломок раковины двустворки (слева). Палеоген. Ферганская долина

Fig. 2. Oolitic limestone. Rounded or oval shapes with a distinctly concentric and at the same time radially radiant internal structure. There are shell of the foraminifera (right) and the fragment of the shell of the bivalve (left) in the nuclei of oolites. Paleogene. Ferghana Valley

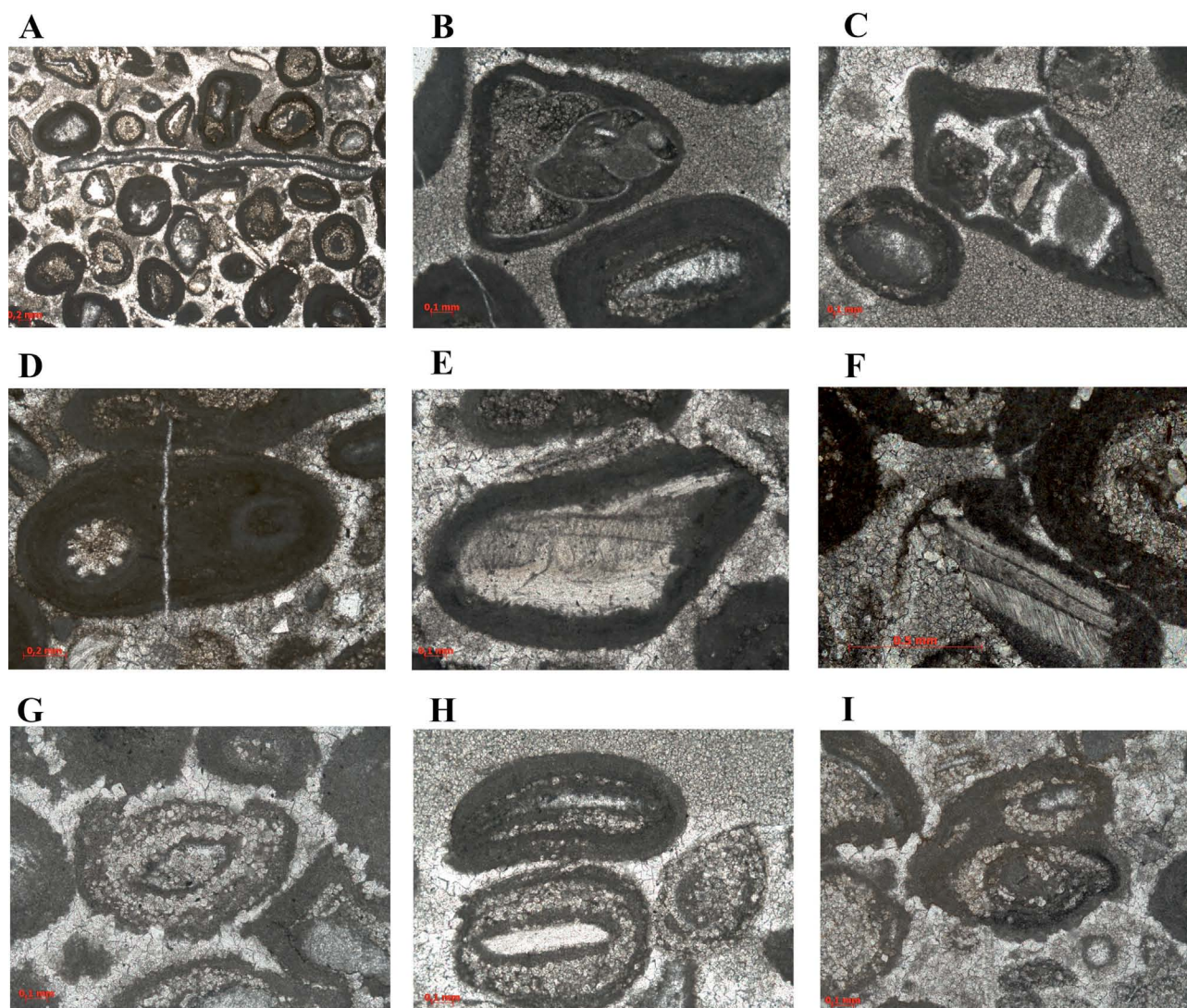


Рис. 3. Онколитовые известняки. А — общий вид: онколиты в виде концентрически слоистых образований округлой, овальной, удлиненной формы, доломитизированные по концентрам и в ядре; В, С — темные каемки микробально генерированного кальцита вокруг раковин гастропод; D, E, F — то же вокруг членика криноидеи и обломков раковин пелеципод; G, H — интенсивная доломитизация ядер и концентров онколитов, которая местами разрушает микробальные пленки; I — объединение двух онколитов в единый, более крупный, с их последующей доломитизацией. Берриас–валанжин. Северный Кавказ. Река Аликоновка

Fig. 3. Oncolithic limestones. A — general appearance: oncoliths have the of concentric layered fabric and rounded, oval, elongated shape, they are dolomitized in concentration and in the core; B, C — dark edges of microbially generated calcite around gastropod shells; D, E, F — the same around the crinoid segment and fragments of pelecypod shells; G, H — intensive dolomitization of oncolith core and concentric laminae, which in places destroys microbial films; I — the union of two oncoliths into a single, larger one, with their subsequent dolomitization. Berrias–Valangin. The North Caucasus. Alikonovka River

крупные, чем оолиты и онколиты, формы размером до 10—15 мм и более, с отчетливо концентрическим строением, с относительно правильными границами. Внутреннее строение онкоидов представляет собой серию довольно правильных концентрических микрослоев пелитоморфного карбоната. Один из видов подобных образований

под названием Stromaria был описан И. Вальтером [21] в цехштейновых рифах Германии, а позднее подобные формы обнаружены в разновозрастных рифах Литвы.

Особой формой микробиолитов являются образования, описанные сначала как шамовеллы [14], а затем как тубифиты [12] — термин, получивший

уже практически международное признание. Это тоненькие трубочки длиной до 4—5,5 мм и диаметром в десятые доли, но не более 1 мм (рис. 5А). Поперечные сечения тубифитов в шлифах — это округлые или овальные тельца с внутренним осевым каналом, сложенные крайне микрозернистым кальцитом, что делает толстые (относительно диаметра осевого канала) стенки непрозрачными, почти черными (рис. 5В, С). Первоначально тубифиты были установлены в нижнепермских отложениях Приуралья, но теперь диапазон их развития охватывает верхний карбон, пермь и мезозой, включая нижний мел [подробнее см. 10].

Тубифиты — это эпифитные бактериальные сообщества, обволакивающие какие-то трубчатые организмы, причем морфология последних в значительной степени предопределяет морфологию самих тубифитов, что послужило основой их во многом формальной, условной классификации как биологических объектов. Нередко вокруг этих трубочек, сложенных пелитоморфным кальцитом, нормально к их поверхности нарастают удлиненные игольчатые кристаллы кальцита, образуя своеобразные крустификационные каемки (см. рис. 5 В, С).

Своеобразными и достаточно широко распространенными геологическими образованиями, формирование которых обусловлено жизнедеятельностью бактерий, являются конкреции, однако идентификация последних как микробио-

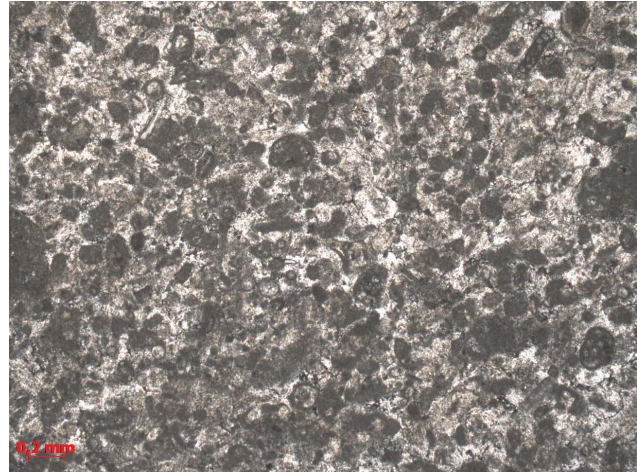


Рис. 4. Известняк сгустковый. Округлые и овальные стяжения пелитоморфного кальцита и редкие раковины фораминиферы, сцементированные ясно-кристаллическим кальцитом. Турне. Оренбургская область

Fig. 4. Clump limestone. Rounded and oval nodules of pelitomorphic calcite and rare foraminifera shells are cemented sparite. Tournaisian. Orenburg region

литов стала появляться сравнительно недавно (см., например, [16]).

Конкреции — округлые, иногда линзовидные стяжения неправильной формы иного, чем вмещающие породы, состава. Существуют конкреции чисто карбонатные — сидеритовые,

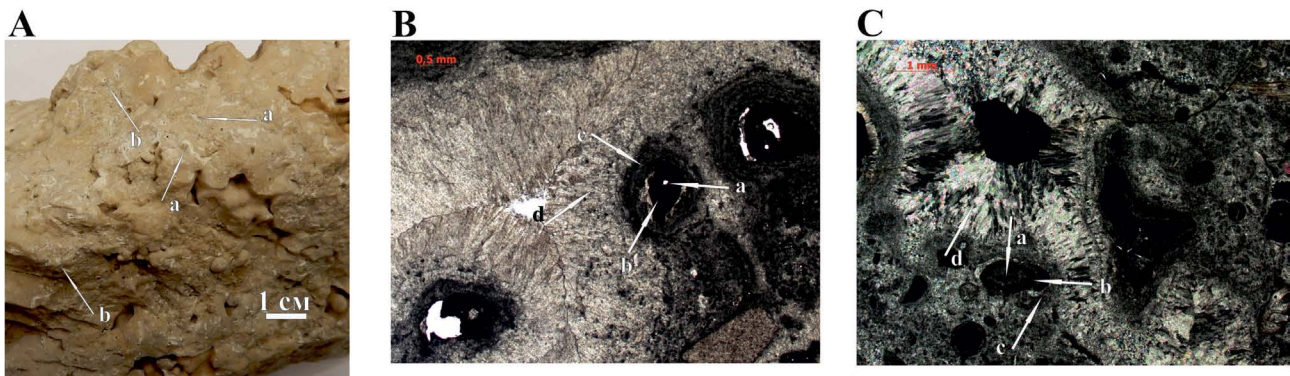


Рис. 5. Эпифитные бактериальные формы — тубифиты: А — в образце: трубочки продольного — (а) и поперечного (b) сечения; В, С — в петрографических шлифах, В — в параллельном свете, С — в скрещенных николях. Вокруг пустотного осевого канала (а) образуется плотная оболочка пелитоморфного кальцита (b), которая нередко обрамляется каемкой пелитоморфного карбоната с концентрической микротекстурой (с); последняя, в свою очередь, обрастает радиально-лучистыми игольчатыми кристалликами кальцита (d). Нижняя пермь. Приуралье

Fig. 5. Epiphyte bacterial forms — tubiphytes: A — in the sample: tubes of longitudinal (a) and transverse (b) cross-section; B, C — in petrographic sections, B — in parallel light, C — in crossed light. A dense overgrowth of pelitomorphic calcite (b) is formed around the hollow axial channel (a), which is often framed by a rim of pelitomorphic carbonate with a concentric microtexture (c); the latter, in turn, is overgrown with radially radiant needle-like calcite crystals (d). Lower Permian. The Urals

кальцитовые, доломитовые, и не только карбонатные, что, равно как и механизм формирования конкреций и роли бактерий в этом процессе, будет обсуждаться во второй статье.

Переходя к слоистым микробиолитам, необходимо прежде всего остановиться на строматолитах.

Микросгустковые и микрослоистые структурные элементы нередко особым образом соединяются, создавая своеобразные текстуры — особые геологические тела — строматолиты. Это пластовые, холмовидные или даже столбчатые образования, имеющие общее неправильно-слоистое строение. Строматолиты подробно изучены и описаны, библиография по ним весьма многочисленна, поэтому ограничимся краткой характеристикой их строения.

При микроскопическом изучении шлифов нередко можно видеть, что микробиолиты состоят из микробных сгустков, которые соединяются между собой в изгибающиеся слойки, имеющие поэтому не плоскопараллельные ограничения, а неправильную волнообразную форму. При этом поскольку новообразованные слойки в большинстве случаев не строго прямолинейны и изгибаются, то в отдельных участках они соприкасаются, в других они отделены друг от друга удлиненными линзовидными пустотами. Подобные внутренние пространства редко остаются полыми, частично или даже целиком они заполняются иным, чаще всего карбонатным же, но в особых условиях и сульфатным материалом. При этом заполнение пустот может быть полным или неполным, одно или чаще многостадийным. На первой стадии, в осадке, как правило, еще при небольшой мощности покрывающего осадка из иловой воды по внутренним стенкам этих полостей нарастают треугольные и остроугольные кристаллики, которые

обрамляют верхнюю и нижнюю (а иногда и только верхнюю) поверхность этих стенок, образуя крустификационные каемки. Позднее оставшееся пространство может заполняться блоковым кальцитом — сплошными гипидиоморфными более или менее изометричными кристаллами (sparcalcite), либо, как это бывает в обстановках аридных литоралей, — себкхи — сульфатами кальция.

Описанные кристаллические образования формируются на диа- и катагенетической стадиях. Дело в том, что удлиненные линзовидные пустоты между твердыми слойками не полностью изолируются от вод самого бассейна, однако в них создается своеобразная геохимическая среда, а именно, такие значения pH, которые способствуют химическому осаждению карбоната. Возможно, что сюда еще проникает свет, и за счет фотосинтеза и утилизации CO₂ щелочность повышается, что обуславливает образование волосных, игольчатых субпараллельно ориентированных кристаллов.

Значительно реже наблюдается, видимо, заполнение пустот практически на стадии седиментации.

Специфическими микробными образованиями являются минерализованные бактериальные маты.

Петрографический состав подобных минерализованных карбонатных биопленок характеризуется в той или иной степени повышенной глинистостью, часто повышенной магниальностью карбонатного материала, его пелитоморфной и микрозернистой структурой, тонкослоистой текстурой и, главное, необычным, казалось бы, взаимоисключающим друг друга набором сопутствующих минералов, таких, например, как ангидрит и пирит.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрусов Н.И. Некоторые результаты экспедиции «Черноморца» // Известия Императорского Русского географического общества. Т. XXVIII. СПб., 1892. С. 370—397.
2. Андрусов Н.И. Бактериология и геология, их взаимные отношения. Вступительная лекция // Ученые записки Юрьевского университета, 1897. № 1. Научный отдел. С. 1—20.
3. Атлас структурных компонентов карбонатных пород. М.: ВНИГНИ, 2005. 440 с. Авт.: Н.К. Фортунатова, О.А. Карцева, А.В. Баранова, Г.В. Агафонова, И.П. Офман.
4. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1965. 374 с.
5. Герасименко Л.М., Заварзин Г.А., Розанов А.Ю., Ушатинская Г.Т. Роль цианобактерий в образовании фосфатных минералов // Журнал общ. биологии, 1999. Т. 60. № 4. С. 415—430.
6. Заварзин Г.А. Литотрофные микроорганизмы. М.: Наука, 1972. 315 с.
7. Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука, 2003. 348 с.
8. Зайцева Л.В., Орлеанский В.К., Герасименко Л.М., Ушатинская Г.Т. Роль цианобактерий в кристаллизации магниальных кальцитов // Палеонтологический журнал, 2006. № 2. С. 14—20.
9. Зайцева Л.В., Орлеанский В.К., Алексеев Л.О., Ушатинская Г.Т., Герасименко Л.М. Трансформация

- карбонатных минералов в цианобактериальном мате при лабораторном моделировании // Микробиология, 2007. Т. 76, № 3. С. 390—404.
10. Кузнецов В.Г., Жегалло Е.А., Журавлева Л.М., Зайцева Л.В. Ультрамикроструктура стенок Tubiphytes // Палеонтологический журнал. 2020. № 2. С. 111—118. DOI: 10.31857/S0031031X20020063
 11. Кузнецов С.И., Иванов М.В., Ляликова Н.Н. Введение в геологическую микробиологию. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1962. 239 с.
 12. Маслов В.П. Ископаемые известковые водоросли СССР // Тр. ИГН АН СССР. Вып. 160. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 304 с.
 13. Надсон Г.А. Микроорганизмы как геологические деятели. СПб., 1903. 110 с.
 14. Раузер-Черноусова Д.М., Липина О.А. Фации верхнекаменноугольных и артинских отложений Стерлитамакско-Ишимбаевского Приуралья (на основе изучения фузулинид). Фораминиферы верхнего девона Русской платформы // Тр. ИГН АН СССР. Геол. сер. № 43: вып. 119. М.: Изд-во АН СССР, 1950. 135 с.
 15. Розанов А.Ю., Заварзин Г.А. Бактериальная палеонтология // Вестник РАН. 1997. Т. 67. № 3. С. 241—245.
 16. Тугарова М.А. Микробиолиты триаса архипелага Шпицберген // Тр. НИИГА ВНИИОкеанологии. Т. 227. СПб., 2014. 198 с.
 17. Aitken J.D. Classification and environmental significance of criptalgal limestones and dolomites, with illustrations from the Cambrian and Ordovician of Southwestern Alberta // J. of Sedimentary Petrology. 1967. V. 37. No. 4. P. 1163—1178.
 18. Burne R.V., Moore L.S. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities // Palaios. 1987. V. 3. No. 3. P. 241—254.
 19. Coated Grains. Springer Berlin–Heidelberg, New York, Tokio, 1983. 655 p. (Ed. T.M. Peryt).
 20. Ushatinskaya G.T., Gerasimenko L.M., Zegallo E.A., Zaitseva L.V., Orleanskii V.K. Significance of Bacteria in Natural and Experimental Sedimentation of Carbonates, Phosphates, and Silicates // Paleontological J. 2006. V. 40. Suppl. 4. P. S524—S531.
 21. Walther I. Geologische Heimatskunde vjn Thueringen. 3.Aufg., Iena, 1906. 205 p.

REFERENCES

1. Andrusov N.I. Some results of the Chernomoretz expedition. // Izvestiya Imperatorskogo Russkogo geograficheskogo obshchestva. = Bulletin of Russian Geographical society. Saint-Peterburg, 1892. Vol. XXVIII. P. 370—397. (In Russian).
2. Andrusov N.I. Bacteriology and Geology, their loan relations. Introductory lecture. // Uchenye zapiski Yur'evskogo universiteta. Nauchnyj otdel. = Scientific notes of the Yuryev University. Scientific Department. 1897. No. 1. P. 1—20. (In Russian).
3. Atlas of structural components of carbonate rocks. Authors: N.K. Fortunatova, O.A. Karceva, A.V. Baranova, G.V. Agafonova, I.P. Ofman. Moscow: VNIGNI, 2005. 440 p. (In Russian).
4. Vernadskiy V.I. Chemical structure of the earth's biosphere and its environment. Moscow: Nauka Publ., 1965. 374 p. (In Russian).
5. Gerasimenko L.M., Zavarzin G.A., Rozanov A.Yu., Ushatinskaya G.T. The Role of cyanobacteria in the phosphate minerals formation // Zhurnal obshchey biologii = Journal of chemical biology. 1999. Vol. 60. No. 4. P. 415—430. (In Russian).
6. Zavarzin G.A. Lithotrophic microorganisms. Moscow: Nauka Publ., 1972. 315 p. (In Russian).
7. Zavarzin G.A. Lectures on natural science Microbiology. Moscow: Nauka Publ., 2003. 348 p. (In Russian).
8. Zayceva L.V., Orleanskiy V.K., Gerasimenko L.M., Ushatinskaya G.T. The role of cyanobacteria in crystallization of magnesium calcites // Paleontologicheskii zhurnal = Paleontological Journal, 2006. Vol. 40. No. 2. P. 14—20. (In Russian).
9. Zayceva L.V., Orleanskiy V.K., Alekseev L.O., Ushatinskaya G.T., Gerasimenko L.M. Transformation of carbonate minerals in a cyano-bacterial mat in the course of laboratory modeling // Mikrobiologiya = Microbiology, 2007. Vol. 76, No 3. P. 390—404. (In Russian).
10. Kuznetsov V.G., Zhegallo E.A., Zhuravleva L.M., Zajceva L.V. Ultramicrostructure of Tubiphyte walls // Paleontologicheskii zhurnal = Paleontological Journal. 2020. No. 2. P. 111—118. (In Russian).
11. Kuznetsov S.I., Ivanov M.V., Lyalikova N.N. Introduction to geological Microbiology. Moscow: Academy of Sciences Publ., 1962. 239 p. (In Russian).
12. Maslov V.P. Fossil calcareous algae of USSR // Trudy Academy of Sciences. Moscow: Academy of Sciences Publ., 1956. Iss. 160. 304 p. (In Russian).
13. Nadson G.A. Microorganisms as geological activists. Saint-Peterburg, 1903. 110 p. (In Russian).
14. Rauzer-Chernousova D.M., Lipina O.A. Facies of upper Carboniferous and Artinian deposits of the Sterlitamak-Ishimbay Cis-Ural (based on the study of fusulinids). Foraminifera from the upper Devonian of the Russian platform. // Tr. IGAN AN SSSR = Proc. of Geological Institute of the USSR Academy of Sciences. Moscow: Academy of Sciences of the Soviet Union Publ., 1950. Iss. 119. No. 43. 135 p. (In Russian).
15. Rozanov A.Yu., Zavarzin G.A. Bacterial paleontology // Vestnik RAN = Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 1997. Vol. 67. No. 3. P. 241—245. (In Russian).
16. Tugarova M.A. Triassic microbialites of Svalbard // Tr. NIIGA VNIIOkeanologii = Transactions of VNIIOkeangeologia. St. Petersburg: VNIIOkeangeologia Publ., 2014. Vol. 227. 198 p. (In Russian).
17. Aitken J.D. Classification and environmental significance of criptalgal limestones and dolomites, with

- illustrations from the Cambrian and Ordovician of Southwestern Alberta // *J. of Sedimentary Petrology*. 1967. V. 37. No. 4. P. 1163—1178.
18. Burne R.V., Moore L.S. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities // *Palaios*. 1987. V. 3. No. 3. P. 241—254.
19. Coated Grains. Springer Berlin–Heidelberg, New York, Tokio, 1983. 655 p. (Ed. T.M. Peryt).
20. Ushatinskaya G.T., Gerasimenko L.M., Zegallo E.A., Zaitseva L.V., Orleanskii V.K. Significance of Bacteria in Natural and Experimental Sedimentation of Carbonates, Phosphates, and Silicates // *Paleontological J.* 2006. V. 40. Suppl. 4. P. S524—S531.
21. Walther I. Geologische Heimatskunde von Thüringen. 3. Aufl., Jena, 1906. 205 p.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHORS CONTRIBUTIONS

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

Журавлева Л.М. — внесла вклад в разработку концепции статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Vitaly G. Kuznetsov — contributed to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to assume responsibility for all aspects of the work.

Liliya M. Zhuravleva — contributed to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to assume responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кузнецов Виталий Германович — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры литологии ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»; ведущий научный сотрудник ФГБУН «Институт проблем нефти и газа Российской академии наук»

65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия
3, ул. Губкина, г. Москва 119333, Россия

e-mail: vgkuz@yandex.ru

тел.: +7 (499) 507-85-77, +7 (495) 330-39-42

SPIN-код: 9477-8454

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4425-0119>

Vitaly G. Kuznetsov — Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof. of the Department of Lithology of Gubkin University; Leading Researcher at the Oil and Gas Research Institute of RAS

65, Leninsky Prospekt, Moscow 119991, Russia

Oil and Gas Research Institute of RAS

3, Gubkin str., Moscow 119333, Russia

e-mail: vgkuz@yandex.ru

tel.: + 7 (499) 507-85-77, + 7 (905) 708-47-57

SPIN-code: 9477-8454

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4425-0119>

Журавлева Лилия Маратовна* — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры литологии ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина».

65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия

e-mail: zhurawlewa.lilia@yandex.ru

тел.: + 7 (499) 507-85-77, + 7 (905) 708-47-57

SPIN-код: 1266-2519

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0360-5414>

Liliya M. Zhuravleva* — Cand. of Sci. (Geol.-Mineral.), Assoc. Prof. of the Department of Lithology of Gubkin University.

65 Leninsky Prospekt, Moscow 119991, Russia

e-mail: zhurawlewa.lilia@yandex.ru

tel.: + 7 (499) 507-85-77, + 7 (905) 708-47-57

SPIN-code: 1266-2519

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0360-5414>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



«ГОРЯЧИЕ ПЯТНА» ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА И ПРОБЛЕМЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

В.Б. СВАЛОВА

ФГБУН «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук»
13, Уланский пер., г. Москва 101000, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Проблемы территориального планирования тесно связаны с решением задачи размещения новых объектов высокой опасности без значительного увеличения экологической нагрузки. Так, задача размещения объектов повышенной экологической опасности, связанных с утилизацией и глубокой переработкой отходов, является важнейшей народно-хозяйственной и научной проблемой, требующей незамедлительного решения. Несмотря на необходимость скорейшего решения проблемы, следует рассматривать и предвидеть последствия принятого решения на долгосрочную перспективу.

Цель. Задачей исследования является выделение «горячих пятен» по степени риска с целью исключения наиболее опасных территорий из дальнейшего планирования и использования.

Материалы и методы. Проблема решается на основе концепции управления экологическим риском, включающей следующие понятия: 1) идентификация опасности; 2) оценка уязвимости; 3) анализ рисков; 4) понятие приемлемого риска; 5) оценка рисков; 6) картографирование рисков; 7) меры по снижению риска: а) законодательные; б) организационные и административные; в) экономические, включая страхование; г) инженерно-технические; д) моделирование; е) мониторинг; ж) информация. Используются материалы и карты опасных природных и техногенных процессов и потенциального ущерба территорий Московской области.

Результаты. Установлено, что при территориальном планировании и размещении дополнительных опасных объектов повышенной экологической нагрузки, таких как мусоросжигательные заводы и полигоны для утилизации и глубокой переработки отходов, необходимо исключение областей высокого экологического риска из потенциальных территорий размещения. Для Московской области это в первую очередь Люберецкий и Раменский районы (восток — юго-восток от Москвы). Люберецкий район можно рассматривать как «горячее пятно» первого класса по экологическому риску вследствие высокой природной опасности и высокого потенциального ущерба. Разработки, выполненные для определения «горячих пятен» риска региона на основе геологических, геодинамических, тектонических и социально-экономических параметров, подтверждаются областями геохимических загрязнений и зонами экологической напряженности среды.

Заключение. Разработанный метод выделения «горячих пятен» риска является основой для решения проблем территориального планирования с целью исключения наиболее экологически напряженных участков и выбора потенциальных мест размещения опасных объектов, в частности объектов утилизации и переработки отходов.

Ключевые слова: риск, опасные процессы, ущерб, территориальное планирование, утилизация отходов

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Статья подготовлена в рамках выполнения госзадания № 122022400105-9 по теме «Прогноз, моделирование и мониторинг эндогенных и экзогенных геологических процессов для снижения уровня их негативных последствий».

Для цитирования: Свалова В.Б. «Горячие пятна» геоэкологического риска и проблемы территориального планирования. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2022;64(3):19—34. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-19-34>

Статья поступила в редакцию 13.07.2022
Принята к публикации 08.09.2022
Опубликована 17.10.2022

"HOT SPOTS" OF GEOECOLOGICAL RISK AND PROBLEMS OF TERRITORIAL PLANNING

VALENTINA B. SVALOVA

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience of RAS
13, Ulansky lane, Moscow 101000, Russia*

ABSTRACT

Introduction. The tasks of territorial planning are closely related to the problems of locating new high-risk facilities without increasing the environmental load. Thus, the task of locating high environmental risk facilities for recycling and deep processing of wastes appears to an essential economic and scientific problem that requires an immediate solution. The long-term consequences of such decisions should be forecasted and analysed.

Aim. To identify "hot spots" according to their risk degree in order to exclude the most dangerous areas from further planning and use.

Materials and methods. The stated problem is solved on the basis of environmental risk management, which includes the following concepts: 1) hazard identification; 2) vulnerability assessment; 3) risk analysis; 4) acceptable risk concept; 5) risk assessment; 6) risk mapping; 7) risk reduction measures, including a) legislative; b) organisational and administrative; c) economic, including insurance; d) engineering; e) modelling; f) monitoring; g) informational. Data and maps of hazardous natural and technogenic processes and potential damage to the territories of the Moscow Oblast were used.

Results. When carrying out territorial planning and location of additional hazard facilities, representing an increased ecological load, such as incineration plants and landfills for recycling and deep processing of wastes, high ecological risk regions should be excluded from the potential location list. In the Moscow Oblast, these are primarily Lyubertsy and Ramensky districts (east-south-east of Moscow). Lyubertsy district can be considered as a "hot spot" of the first class in terms of ecological risk due to the high natural hazard and potential damage. The findings obtained when determining "hot spots" based on geological, geodynamic, tectonic and socio-economic parameters, were confirmed by the areas of geochemical pollution and environmental stress zones.

Conclusion. The developed method of identifying the risk "hot spots" represents a basis for solving the problems of territorial planning for the purpose of excluding the most ecologically stressed sites and selecting suitable sites for locating hazard facilities, in particular, recycling and waste processing plants.

Keywords: risk, hazardous processes, damage, territorial planning, recycling

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

Financial disclosure. The article was prepared in response to a government assignment No. 122022400105-9 on the topic "Forecast, modeling and monitoring of endogenous and exogenous geological processes to reduce their negative consequences".

For citation: V.B. Svalova. "Hot spots" of geoecological risk and problems of territorial planning. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(3):19—34. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-19-34>

Manuscript received 13 July 2022

Accepted 08 September 2022

Published 17 October 2022

Проблемы территориального планирования тесно связаны с решением задачи размещения новых объектов высокой опасности без значительного увеличения экологической нагрузки.

Задача утилизации и глубокой переработки твердых бытовых и промышленных отходов очень остро стоит как в стране в целом, так и особенно в мегаполисах, где повышенная плотность населения, коммуникаций и промышленного производства создает высокую экологическую нагрузку на окружающую среду [1, 2, 4—8, 10]. Задача размещения объектов повышенной экологической опасности, связанных с утилизацией и глубокой переработкой отходов, является важнейшей народнохозяйственной и научной проблемой, требующей незамедлительного решения. Несмотря на необходимость скорейшего решения проблемы, следует рассматривать и предвидеть последствия принятого решения на долгосрочную перспективу. Важно не только учитывать все возрастающую экологическую нагрузку на геологическую и природную среду, но и принимать во внимание психологические и социальные аспекты решения проблемы. С одной стороны, необходимо вывозить отходы за пределы больших городов, если невозможна их полная безотходная переработка без загрязняющих выбросов, а с другой — нельзя это делать в ущерб соседним населенным пунктам и окружающей природе. Проблема требует стратегического научного подхода и решения, учитывающего все многообразные осложняющие факторы и аспекты.

В качестве исходных положений можно принять следующие:

1) необходимость переработки и утилизации отходов на небольших расстояниях от источников отходов. Не перевозить отходы на отдаленные территории, чтобы не загрязнять дороги;

2) имеющиеся места складирования отходов необходимо рекультивировать, а многие ликвидировать. Отходы подвергнуть глубокой переработке и утилизации;

3) для имеющихся свалок ТБО и ТКО, мусороперерабатывающих заводов и экотехнопарков необходимо установить жесткую многофункциональную систему экомониторинга.

Так, для Москвы в качестве полигонов переработки и утилизации отходов следует рассматривать Московскую и близлежащие области.

Природные опасности Московской области

Для территории Московской области наиболее характерны такие виды опасных природных

процессов, как наводнения, оползни, карст, ураганы, засухи (как результат лесные и торфяные пожары) [3] (рис. 1).

На территории области отмечались и землетрясения. Слабые сейсмические волны доходили из Средиземноморской геосинклинальной области, а также из Средней Азии.

Московская область расположена в центре древней платформы, что обуславливает слабое проявление тектонических процессов. Вместе с тем определенную угрозу высотным зданиям и сооружениям на территории Московской области представляют низкочастотные колебания, вызываемые прохождением сейсмических волн от крупных землетрясений.

Тектонические условия области неоднородны. Территория Подмосковья занимает центр и юго-западный склон Московской синеклизы — крупнейшей платформенной структуры, формирование которой началось в конце рифея и окончательно завершилось в девонское время. Она представляет собой обширный чашеобразный прогиб докембрийского фундамента платформы, размерами примерно 1000×450 км, ориентированный удлиненной осью на восток — северо-восток [3, 9].

Кристаллический фундамент Русской платформы в пределах Московской области имеет древние разломы — авлакогены, которые в геологическом прошлом являлись очагами вулканизма. Авлакогены являются районами проявления повышенной геомагнитной активности. Наиболее глубокий из них Пачелмский, занимает территорию Зарайского, Каширского, Озерского, Чеховского районов.

Также на территории области расположены еще два авлакогена — Подмосковный и Гжатский. Они пересекают центральную часть области, в том числе и южную часть Москвы [3] (рис. 2).

В западной части Московской области, уходя частично на территорию соседней Смоленской, располагается обширная Гжатская впадина, в пределах которой скважинами зафиксирована глубина фундамента порядка 2600 м (в районе к югу от Волоколамска). К юго-востоку и востоку от нее находятся две линейно вытянутые узкие впадины: расположенная чуть восточнее Москвы почти широтная Подмосковная впадина (с глубиной залегания фундамента более 4200 м в районе Ногинска) и такая же глубокая Пачелмская впадина, протянувшаяся от истоков реки Рожайки вдоль долины реки Северки на юго-восток, к Зарайску и Рязани.



Рис. 1. Схематическая карта распространения оползневых процессов и карста на территории Московской области [3]. Белый — площади слабого проявления процессов. Желтый — площади среднего проявления процессов. Красный — площади интенсивного проявления процессов
<https://mwmoskva.ru/ekologicheskaya-karta-moskvy.html>

Fig. 1. Schematic map of the distribution of landslide processes and karst in the Moscow region [3]. White — areas of weak manifestation of processes. Yellow — areas of average manifestation of processes. Red — areas of intensive manifestation of processes
<https://mwmoskva.ru/ekologicheskaya-karta-moskvy.html>

Территория области изобилует тектоническими разломами разного ранга. Как правило, разломы маркирует речная система. Разломы кристаллического фундамента потенциально являются опасными, так как в их пределах возможна активизация тектонических процессов, которая будет сопровождаться землетрясениями.

Изучение современных движений земной коры показывает, что территория области продолжает жить довольно активной (учитывая ее платформенное положение) неотектонической жизнью [3, 9]. В неоген-четвертичное время она испытала серию поднятий и опусканий, причем преобладали подъемы, выразившиеся в суммарной за этот период амплитуде в 50 метров. Новейшие измерения показывают, что в настоящее время

северо-западные районы области (в частности, Смоленско-Московская возвышенность) испытывают подъем с амплитудой 1—8 мм в год, а восточное Подмосковье (Мещерская низменность), наоборот, опускается на 5—6 мм в год [3]. Пониженные области связаны с подтоплением и наводнениями (рис. 3).

Наибольшую потенциальную опасность несут авлокагены, которые пересекают область широтно и на юге меридионально. Эти крупные районы разломов приурочены к территориям с высокой плотностью населения, в том числе к южной части города Москвы. В отмеченных районах возможны смещения пластов горных пород, поэтому это нужно учитывать при организации систем расселения и строительстве.

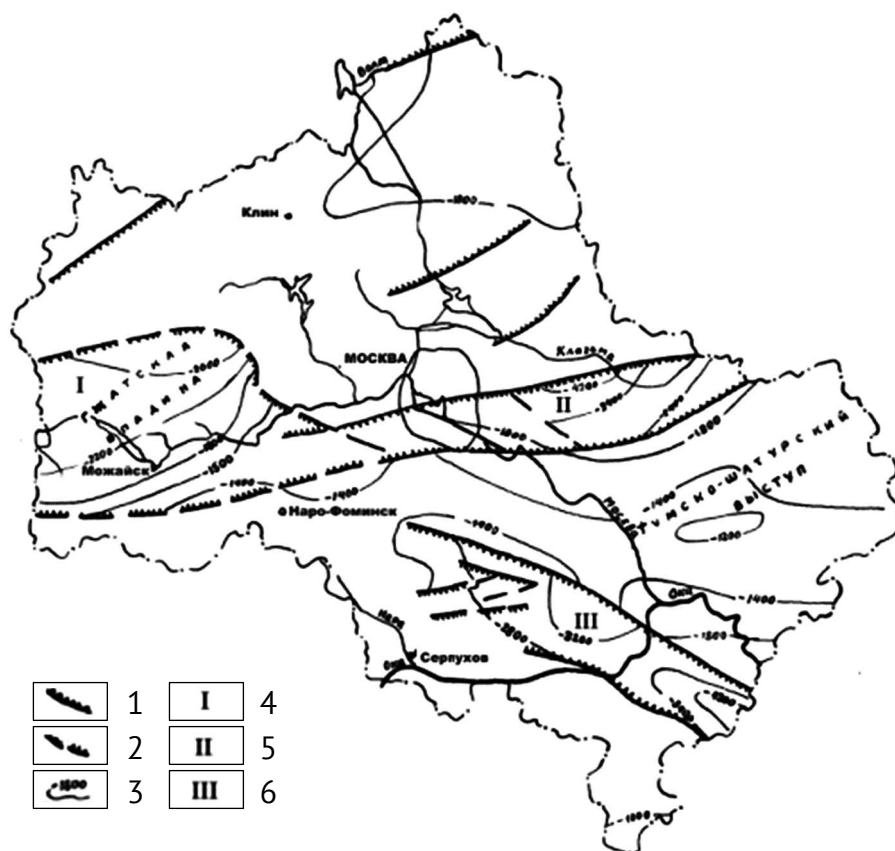


Рис. 2. Схематическая тектоническая карта Московского региона. Разломы кристаллического фундамента: 1 — установленные, 2 — предполагаемые; 3 — изогипсы поверхности фундамента, м; Впадины фундамента: 4 — Гжатская, 5 — Подмосковная, 6 — Пачелмская [3]

Fig. 2. Schematic tectonic map of the Moscow region. Faults of the crystalline basement: 1 — established, 2 — assumed; 3- isohypses of the foundation surface, m; Basement depressions: 4 — Gzhatskaya, 5 — Moscow region, 6 — Pachelmskaya [3]

Рассматривая по районам потенциальную тектоническую опасность, можно считать, что наибольшая опасность относится к районам: Зарайскому, Озерскому, Ступинскому, Чеховскому, Можайскому, Рузскому, Одинцовскому, Люберецкому, Ногинскому и Павлово-Посадскому.

В группу районов, в наибольшей степени подверженных природным и антропогенным провалам, оползням (более 25 % территории) входят Каширский, Зарайский и Серебряно-Прудский.

Наиболее подвержены подтоплению Озерский, Луховицкий, Серпуховской, Коломенский, Каширский. В меньшей степени Воскресенский, Раменский, Можайский.

Ураганы на территории Москвы и области наиболее опасны в г. Москве, в районах с высокой плотностью населения. Основной ущерб при ураганах — это разрушение коммуникаций и инфраструктуры. Большую опасность имеют ураганы в малооблесенных районах, так как леса задерживают

и ослабляют ураганный ветер. В Московской области при небольшой лесистости ураганы проявляются по всей области, однако максимальный ущерб они приносят в плотнонаселенных районах и в московской агломерации [8, 9].

Максимальное количество возможных опасных природных процессов и явлений характерно для Люберецкого и Раменского районов (5 видов). Это наиболее неблагоприятные районы Московской области по степени потенциальной опасности от природных процессов и явлений [3, 4].

Большая часть районов Московской области относится к районам с умеренной степенью потенциальной опасности от природных процессов и явлений, где проявляются 2—3 их вида.

Низкая степень потенциальной опасности от природных процессов и явлений в Московской области отмечена в следующих районах: Шаховской, Волоколамский, Пушкинский, Истринский, Красногорский.



Рис. 3. Физическая карта Московской области <https://prezentacii.org/prezentacii-po-geografii/126058-prirodnye-kompleksy-moskovskoj-oblasti.html>

Fig. 3. Physical map of the Moscow region <https://prezentacii.org/prezentacii-po-geografii/126058-prirodnye-kompleksy-moskovskoj-oblasti.html>

Управление геоэкологическим риском.

Материалы и методы

Системный подход к решению задачи требует проблемно-ориентированного анализа и оценки экологической нагрузки на окружающую среду и, в частности, анализа и оценки риска опасных природных и техногенных процессов на рассматриваемых территориях с целью управления экологическим риском и недопущения превышения критических параметров воздействия на геологическую и социальную среду. Следует в первую очередь выявить и исключить территории повышенной опасности и риска. Таким образом, задача оценки и управления геоэкологическим риском становится еще более актуальной в рамках решения глобальной проблемы управления отходами и создания индустрии переработки и утилизации ТБО (твердых бытовых отходов) и ТКО (твердых коммунальных отходов).

Следует особо рассмотреть области повышенного напряженно-деформированного состояния

литосферы, геодинамической и сейсмической активности, высокого теплового потока, повышенных скоростей поверхностных движений, геопатогенных зон и разломов, интенсивной фильтрации грунтовых и подземных вод, а также территории развития опасных природных процессов, таких как оползни, карст, суффозия, переработка берегов, подтопление и др.

Концепция управления экологическим риском включает следующие понятия [11—26]: 1) идентификация опасности; 2) оценка уязвимости; 3) анализ рисков; 4) понятие приемлемого риска; 5) оценка рисков; 6) картографирование рисков; 7) меры по снижению риска: а) законодательные; б) организационные и административные; в) экономические, включая страхование; г) инженерно-технические; д) моделирование; е) мониторинг; ж) информация.

Под информацией понимается оповещение населения и принимающих решения органов о возможном катастрофическом событии или опасном

природном явлении, а также просвещение, обучение действиям, тренинги.

Часто в узком смысле управление риском рассматривается как система мер, ведущих к снижению риска.

Риск оценивается как суперпозиция вероятности опасного природного или техногенного процесса и возможного ущерба в случае наступления события. Для оценки вероятности необходим статистический анализ стихийных бедствий и катастроф. Результатом анализа может быть выделение «горячих пятен» по степени риска для региона. Как правило, такими «горячими пятнами» являются особо опасные или ценные объекты в наиболее сложных экологических условиях. Такой подход построения «горячих пятен» («hotspots») весьма распространен для больших территорий и мелкомасштабных карт. Так, подобный подход осуществлен для оценки оползневой риска Европы, где учитывались карты оползневой опасности, а также карты плотности населения и дорог. Причем строились карты оползневой риска отдельно для сейсмоопасных горных территорий и равнинных территорий, подверженных повышенным осадкам и наводнениям. [18, 20, 22, 26].

На рис. 4 представлена схема управления риском [15, 18, 20, 22, 26], описывающая отношения между основными элементами концепции риска для системных подходов к исследованиям природных опасностей и катастроф, что может рассматриваться как управление риском.

Одним из наиболее распространенных определений геологического риска является: риск есть математическое ожидание ущерба. Или: риск равен произведению вероятности возможного опасного события на произведенный ущерб [11, 12, 15, 19, 21—26]. Второе определение взято за основу в данной работе:

$$R = P \times D,$$

где R — риск, P — вероятность, D — ущерб.

Для автоматизированного анализа фактического материала и построения карт риска необходимо

найти суперпозицию интегральной карты природной опасности и интегральной карты возможного ущерба, т.е. для каждого i -го фрагмента карты риска R_i найти произведение вероятности опасного события P_i на сумму различных j -тых возможных ущербов от опасного процесса:

$$R_i = P_i \times D_i, D_i = \sum_j D_{ij} \quad (1)$$

$$R_i = P_i \sum_j D_{ij}.$$

Оценку природной опасности при этом необходимо проградуйровать от 0 до 1, чтобы отразить вероятность опасного события.

Для формализации интегральной оценки природной опасности введем коэффициент k_{im} опасности от опасного процесса m в i -том квадрате, интегральный коэффициент опасности в i -том квадрате k_i и пронормируем на максимальное число баллов n для аналогии с вероятностью:

$$k_i = \sum_m k_{im}; P_i = k_i / n. \quad (2)$$

Пусть $m = 5$, т.е. рассмотрим 5 видов природной опасности 1) оползни, 2) карст и суффозия, 3) гидрогеологические опасности (подтопление, наводнения), 4) тектонические опасности (разломы, высокие скорости движения земной поверхности), 5) метеорологические опасности (засуха и как следствие пожары, ураганы, смерчи и др.). Каждую опасность оценим по трехбалльной системе (0, 1, 2) — низкая, средняя, высокая. Тогда k_i изменяется от 0 до 10, $n = 10$, P_i изменяется от 0 до 1.

Для комплексной оценки ущерба на каждом участке предлагается проградуйровать возможный ущерб от каждого параметра по трехбалльной системе (0, 1, 2), где 0 означает низкий ущерб или отсутствие ущерба, 1 — умеренный, 2 — высокий ущерб. Параметрами здесь могут рассматриваться: 1) плотность населения, 2) плотность дорог и коммуникаций, 3) плотность застройки, 4) стоимость земли, 5) стоимость жилья. Чем выше значение параметра (стоимость земли, жилья и т.д.), тем выше ущерб в случае опасного события. Тогда возможный ущерб по 5 параметрам в каждом элементе изменяется от 0 до 10.

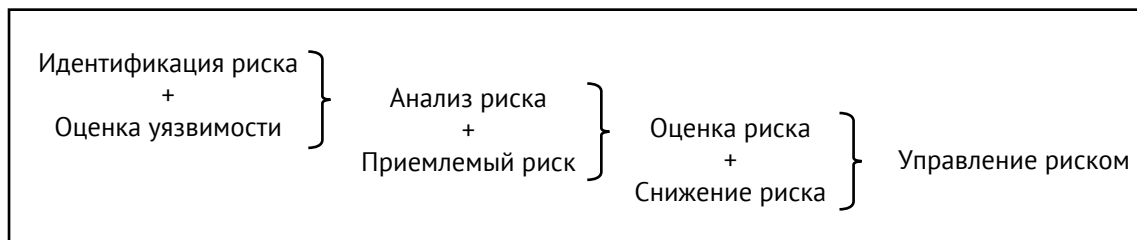


Рис. 4. Управление риском

Fig. 4. Risk management

Риск в каждом элементе также варьируется от 0 до 10. Это риск в относительных единицах (больше-меньше) по 10-балльной шкале. Разбив карту области на квадраты и вычислив риск для каждого квадрата, можно получить карту риска области по 10-балльной шкале. Таким образом строится карта риска как суперпозиция карт опасностей и потенциальных ущербов.

Часто нет необходимости строить подробную карту риска, а достаточно выделить «горячие пятна» риска [18, 20, 22, 26].

Для оценки потенциального ущерба можно использовать карты плотности населения (рис. 5) и карты дорог и коммуникаций (рис.6).

При использовании формул 1 и 2 следует руководствоваться следующими подходами:

1) оползни и карст представляют наибольшую опасность на территории Московской области (рис. 1);

2) эндогенные опасные процессы (землетрясения) на территории области проявляются незначительно;

3) глубинные и поверхностные разломы земной коры отражают напряженное состояние литосферы. Скорости движения поверхности невелики, но их следует учитывать при долговременном территориальном планировании, особенно при строительстве скоростных железных дорог, мостов, трубопроводов, туннелей, линейных и подземных сооружений;

4) русла рек являются показателями геодинамической опасности в литосфере как маркеры глубинных разломов земной коры и, в свою очередь, являются источниками экзогенных опасных природных процессов вследствие рельефа берегов, обводненности территорий и гидрогеодинамики прибрежных областей. К руслам рек приурочены многие опасные природные процессы: оползни, переработка берегов, овражная эрозия, карст, суффозия, подтопление, наводнения, паводки, половодья и др. Вместе с тем к руслам рек и их высоким берегам приурочены ценные объекты культурного наследия: церкви, исторические строения, дорогостоящие спортивные сооружения.

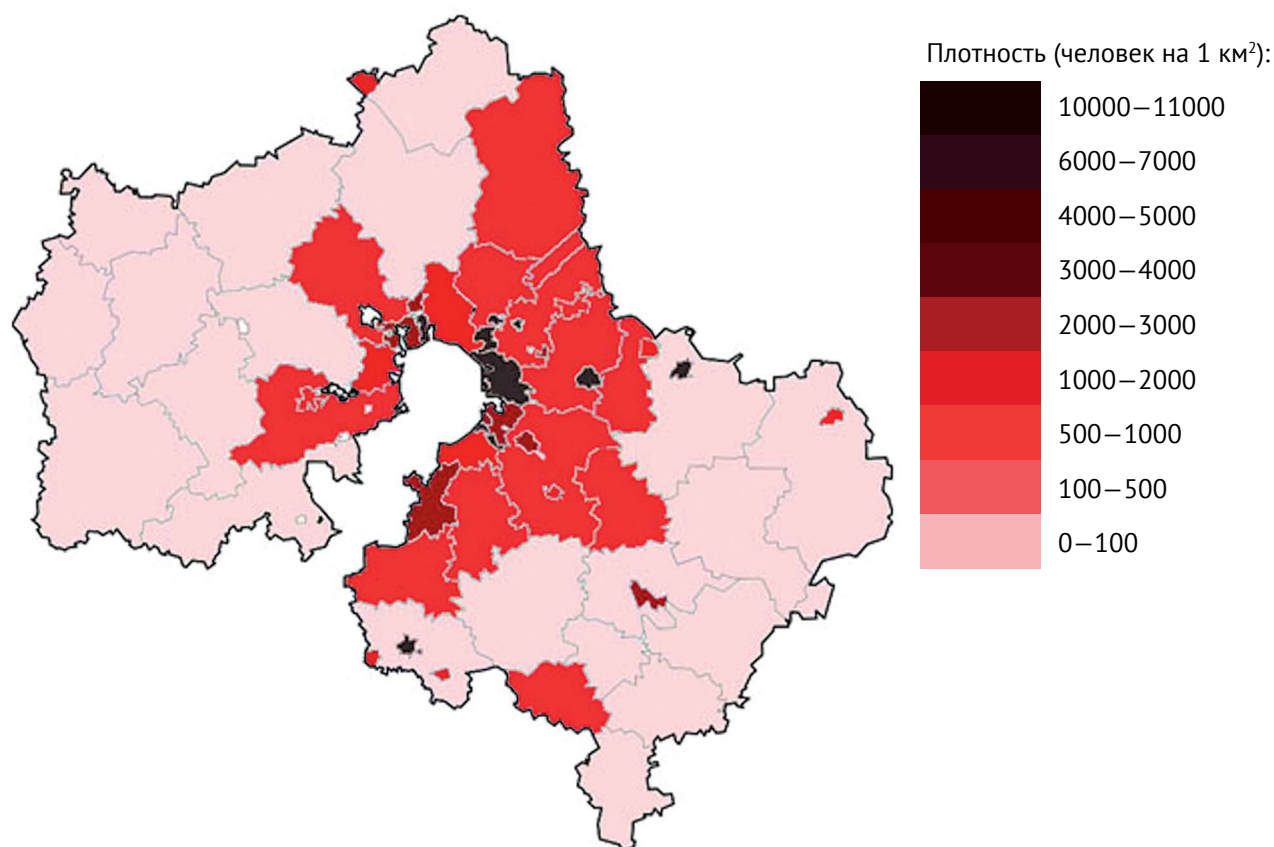


Рис. 5. Схематическая карта плотности населения Московской области (РОССТАТ). <https://golosinfo-prod.herokuapp.com/ru/articles/142044>

Fig. 5. Schematic map of the population density of the Moscow region (ROSSTAT). <https://golosinfo-prod.herokuapp.com/ru/articles/142044>

а



б

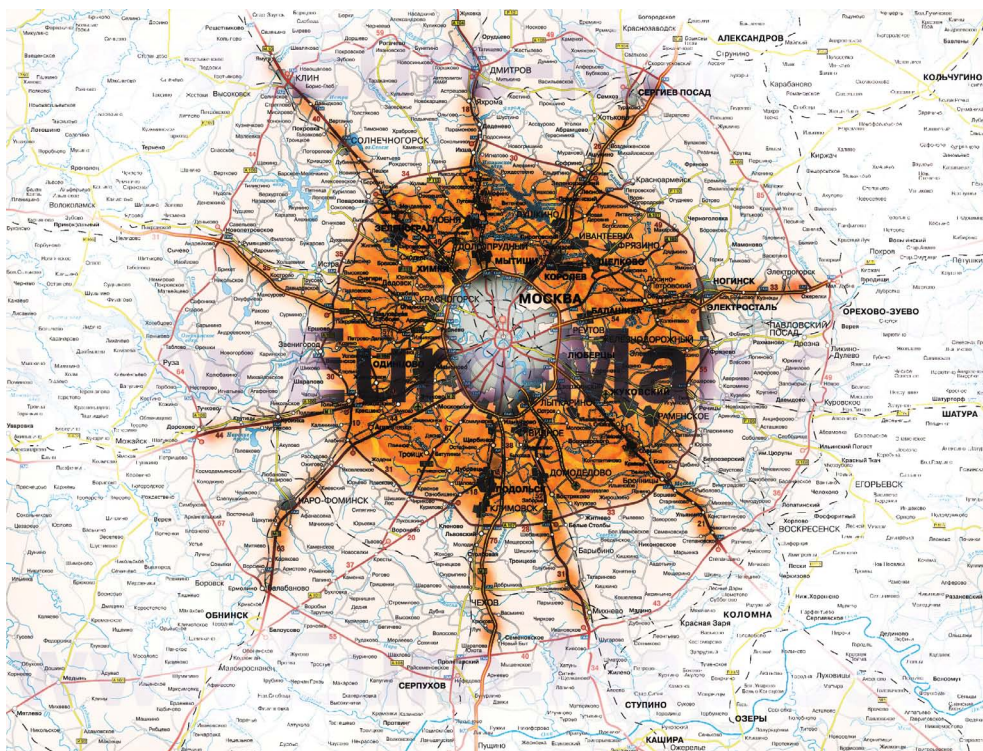


Рис. 6. Карта-схема автомобильных дорог Московской области (а). Затемнение — области повышенного потенциального ущерба («Звезда потенциального ущерба» Московской агломерации) (б). www.Euro-Map.com avtomobilnaya-karta-dorog-moskovskaya-oblast

Fig. 6. Map-scheme of highways of the Moscow region (а). Shading — areas of increased potential damage «Star of potential damage» of the Moscow agglomeration) (б). www.Euro-Map.com avtomobilnaya-kar-ta-dorog-moskovskaya-oblast

а



б



в

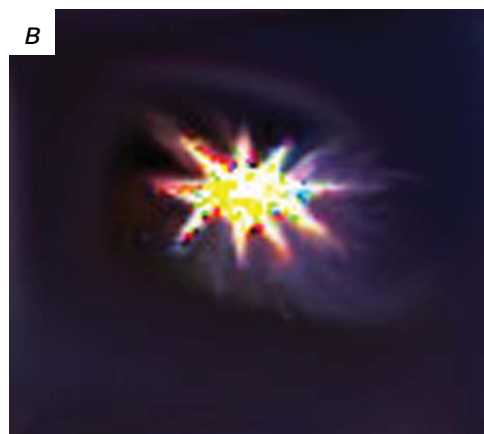


Рис. 7. Ночное фото из космоса: а — Московская агломерация (<https://gamerwall.pro/12206-rossija-iz-kosmosa-nochju.html>); б — Европа ночью из космоса (1641864474_18-gamerwall-pro-p-rossiya-iz-kosmosa-nochyu-fentezi-krasivo-20); в — «звезда потенциального ущерба» Московской агломерации ночью из космоса

Fig. 7. Night photo from space: а — night aerial photo of Moscow region (<https://gamerwall.pro/12206-rossija-iz-kosmosa-nochju.html>); б) Europe at night from space (1641864474_18-gamerwall-pro-p-rossiya-iz-kosmosa-nochyu-fentezi-krasivo-20); в — “star of potential damage” for Moscow region at night

Многие города были заложены и развивались около русел рек. Таким образом, вдоль русел рек на урбанизированных территориях сконцентрированы опасные природные процессы и объекты высокого потенциального ущерба, что определяет области высокого геоэкологического риска;

5) плотность населения и плотность дорог и коммуникаций являются определяющими параметрами ущерба. Плотность населения определяет плотность застройки. Чем ближе к Москве, тем выше стоимость земли и жилья. Потенциальный ущерб в Московской области имеет радиально-кольцевой



Рис. 8. Схематическая карта рельефа Московской области. Черный круг — «горячее пятно» по степени риска (Люберцы). 1 — Верхневолжская низменность, 2 — Смоленско-Московская возвышенность, 3 — Мещерская низменность, 4 — Москворецко-Окская равнина, 5 — Среднерусская возвышенность [3]

Fig. 8. Schematic map of the relief of the Moscow region. The black circle is a “hot spot” in terms of risk (Lyubertsy). 1 — Upper Volga lowland, 2 — Smolensk-Moscow Upland, 3 — Meshcherskaya lowland. 4 — Moskvoetsko-Oka Plain, 5 — Central Russian upland [3]

характер. Максимальный ущерб связан с населенными пунктами вблизи Москвы и дорожной сетью (рис. 6). Области максимального ущерба московской агломерации имеют форму звезды с 10 лучами вдоль железных и автомобильных дорог;

6) ночные фото из космоса хорошо характеризуют потенциальный ущерб, т.к. отражают плотность застройки, дорог и коммуникаций (рис. 7). Из космоса ночью хорошо видна «звезда потенциального ущерба» Московской агломерации;

7) в качестве экспресс-анализа и оценки геоэкологического риска для неисследованных территорий можно использовать суперпозицию ночных космических снимков и русел крупных рек.

Также идентифицировать районы с наибольшим потенциальным ущербом в случае опасного природного события можно по ночной авиационной и космической съемке урбанизированной территории, которая хорошо отражает плотность автомобильных и железных дорог, инфраструктуры и жилой застройки городских агломераций: (рис. 7).

Анализ и оценка природных опасностей и потенциального ущерба для Московской области на основе формул 1 и 2 с учетом подхода, изложенного в пунктах 1—7, дает оценку риска около 8 баллов по 10-балльной системе для «горячего пятна» в районе Люберцы (рис. 7). $k_i = 8$; $P_i = k_i/n = 0,8$; $D_i = 10$; $R_i = 8$. Основные характеристики района Люберцы по отношению к другим районам Московской области: 1) высокая плотность населения, 2) высокая плотность дорог и коммуникаций, 3) высокая плотность застройки, 4) высокая стоимость земли и жилья вследствие близости к Москве, 5) высокая оползневая и карстовая опасность (рис. 1), 6) близость реки Москвы, т.е. высокая опасность подтоплений и наводнений, 7) наличие глубинного разлома как показателя геодинамической опасности.

Геоэкологический риск на территории Московской области. Результаты и обсуждение

На основе проведенного анализа делаются выводы об исключении областей высокого

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ
Масштаб 1:1 750 000

СТЕПЕНЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ
(в процентах общей площади)

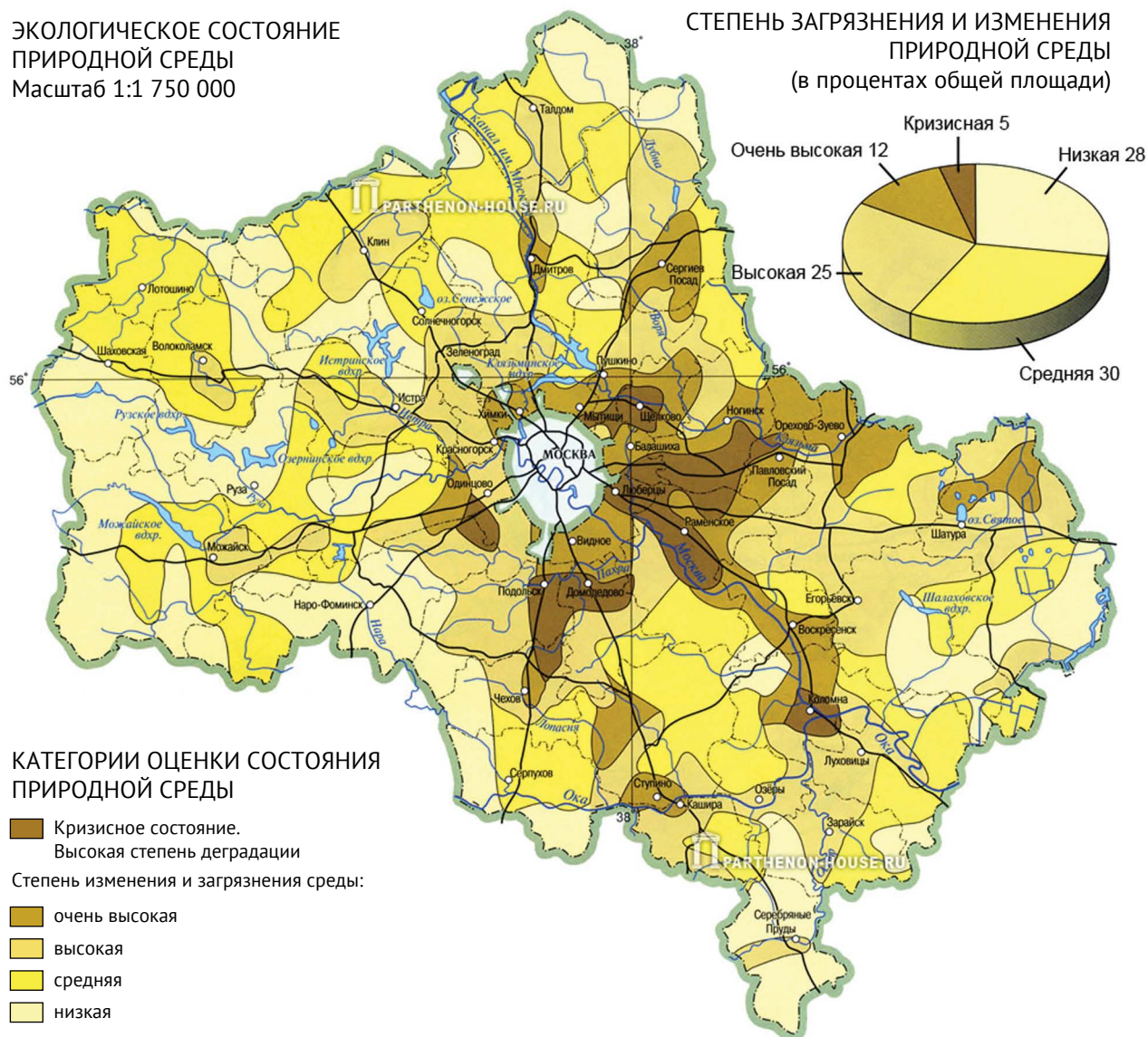


Рис. 9. Схематическая карта загрязнения природной среды Московской области. <https://terres.ru/articles/ekologicheskaya-karta-podmoskovyya> (masteratlas.ru)

Fig. 9. Schematic map of environmental pollution in the Moscow region. <https://terres.ru/articles/ekologicheskaya-karta-podmoskovyya> (masteratlas.ru)

экологического риска из потенциальных территорий размещения дополнительных опасных объектов повышенной экологической нагрузки, в частности для утилизации и переработки отходов. Для Московской области это в первую очередь Люберецкий и Раменский районы (восток — юго-восток от Москвы), а также населенные пункты, включая санитарные зоны, особо охраняемые территории, объекты культурного наследия, рекреационные зоны, дороги и коммуникации. Люберецкий район можно рассматривать как «горячее пятно» первого класса

по геоэкологическому риску [18, 20, 22, 26]. (рис. 8).

Важно отметить, что разработки, выполненные для определения «горячих пятен» риска региона на основе геодинамических, тектонических и социально-экономических параметров, подтверждаются областями геохимических загрязнений и зонами экологической напряженности среды, что вполне естественно, т.к. во многом загрязнение связано с жизнедеятельностью человека (рис. 9, 10). Особое значение здесь имеет вынос загрязнения из г. Москвы вниз по течению реки.

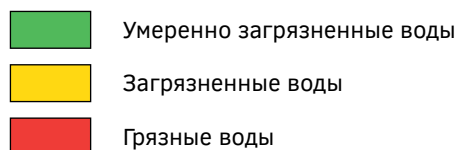


Fig. 10. Schematic map of groundwater and surface water pollution in the Moscow region. <https://rudocs.exdat.com/docs/index-246647.html> (masteratlas.ru)

Разработанный метод выделения «горячих пятен» риска является основой для решения проблем территориального планирования с целью

исключения наиболее экологически напряженных участков и выбора потенциальных мест размещения опасных объектов, в частности, объектов утилизации и переработки отходов. Разработанный метод анализа и управления геоэкологическим риском является основой для системы управления отходами и решения проблем территориального планирования с целью выбора потенциальных территорий для размещения объектов утилизации и переработки отходов, а также создания индустрии управления отходами. В то же время следует учитывать исторически сложившиеся области полигонов ТБО и ТКО, не создавать новые, а экотехнопарки и заводы по переработке и утилизации отходов располагать по возможности вблизи имеющихся областей

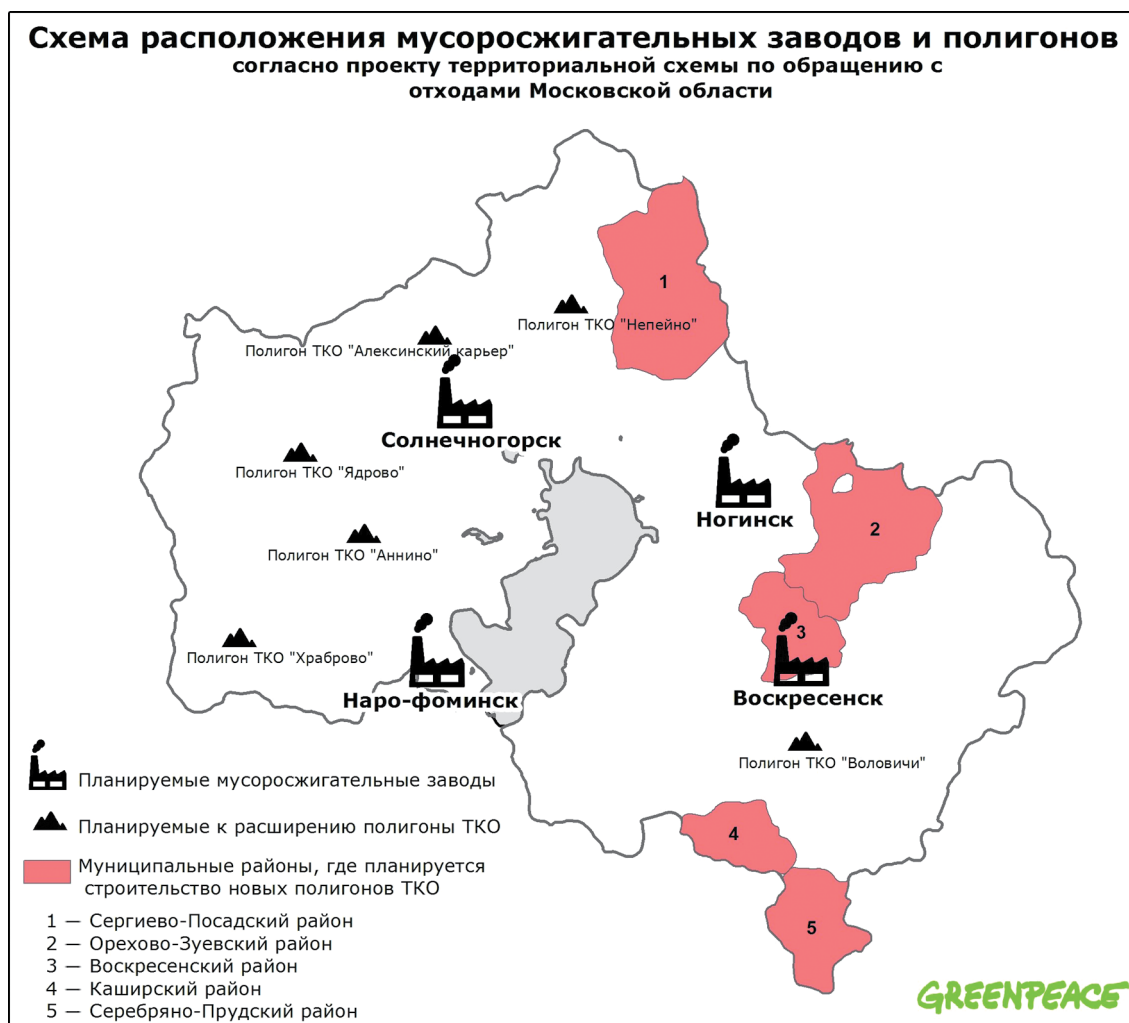


Рис. 11. Схема расположения планируемых мусоросжигательных заводов и полигонов депонирования ТБО и ТКО. <https://www.asi.org.ru/news/2016/10/10/142307/> (ГРИНПИС)

Fig. 11. Scheme of the location of the planned waste incineration plants and landfills for depositing TBO and TKO. <https://www.asi.org.ru/news/2016/10/10/142307/> (GREENPEACE)

депонирования отходов, чтобы сократить расходы на перевозку и уменьшить дополнительное загрязнение дорог и окружающей среды. Результаты

исследований согласуются с расположением планируемых мусоросжигательных заводов и полигонов депонирования ТБО и ТКО (рис. 11).

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации / Под общ. ред. С.К. Шойгу. М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография», 2005.
2. Вагнер Б.Б. Проявление опасных природных процессов и явлений на территории Московской области и мероприятия по снижению ущерба от них. 2009. URL: http://www.obrsouz.ru/O3_3.htm
3. Вагнер Б.Б., Манучарянц Б.О. Геология, рельеф и полезные ископаемые Московского региона. М.: МГПУ, 2003. 82 с.
4. Заиканов В.Г., Заиканова И.Н., Булдакова Е.В. Геоэкологический и ландшафтно-экологический анализ территорий существующих свалок ТБО Московской области // Сергеевские чтения. 2018. Вып. 10. С. 65—70.
5. Козлякова И.В., Кожевникова И.А., Анисимова Н.Г., Иванов П.В. Инженерно-геологическое районирование Центрального федерального округа России по условиям размещения предприятий и полигонов утилизации твердых бытовых отходов // Сергеевские чтения 2018. Вып. 10. С. 74—77.

6. Козлякова И.В., Еремина О.Н., Миронов О.К. Геологический риск урбанизированных территорий (оценка и картографирование на примере г. Москвы) // Геоэкология. 2018. № 5. С. 53—65.
7. Макеев В.М., Макарова Н.В., Леденев В.Н., Дорожко А.Л., Суханова Н.В., Карфидова Е.А., Коробова И.В. Основы концепции геодинамической безопасности экологически опасных инженерных объектов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2015. № 2. С. 99—110.
8. Москва. Геология и город / Под ред. Осипова В.И. и Медведева О.П. М.: Московские учебники и картолитография, 1997. 400 с.
9. Общегеографический атлас «Москва. Московская область». ВТУ ГШ, 439 ЦЭВКФ. М., 2000.
10. Осипов В.И. Управление твердыми коммунальными отходами как федеральный экологический проект // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2019. № 3. С. 3—11.
11. Природные опасности России. Оценка и управление природными рисками / Под ред. Рагозина А.Л. М.: КРУК, 2003. 316 с.
12. Рекомендации по оценке геологического риска г. Москвы / Под ред. Рагозина А.Л. Москомархитектура, ГУ ГО ЧС г. Москвы. М.: Изд-во ГУП НИАЦ, 2002. 59 с.
13. Свалова В.Б. Снижение риска оползневых процессов // Единый всероссийский научный вестник. 2016. II. С. 79—83.
14. Brikmann J. Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications // Environment Hazards. 2007. No. 7. P. 20—31.
15. Corominas J., van Westen C., Frattini P., Cascini L., Mallet J.-P., et al. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk // Bulletin of Engineering Geology and Environment. 2014. No. 2. P. 209—263.
16. Cutter S.L. Building disaster resilience: steps toward sustainability // Challenges in Sustainability. 2014. Vol. 1(2). P. 72—79.
17. Cutter S.L., Finch C. Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards // Proc. Natl. Acad. Sci. 2008. Vol. 105(7). P. 2301—2306.
18. Dilley M., Chen R.S., Deichmann W., Lerner-Lam A.L., Arnold M. Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis. Washington D.C.: The World Bank, 2005.
19. Proske D. Catalogue of risks // Natural, Technical, Social and Health Risks. Springer. 2007.
20. Jaedicke C., Van Den Eeckhaut M., Nadim F., Herva's J., Kalsnes B., Vangelsten B., Smith J., Tofani V., Ciurean R., Winter V., Thygeson K., Syre T., Smebye H. Identification of landslide hazard and risk 'hotspots' in Europe. // Bull Eng Geol Environ. 2014. No. 73. P. 325—339. DOI: 10.1007/s10064-013-0541-0
21. Knight F.H. Risk, Uncertainty and Profit. Chicago: Houghton Mifflin Company, 1921.
22. Svalova V.B. Mechanical-mathematical modeling and monitoring for landslide processes // Journal of Environmental Science and Engineering. 2011. Vol. 5, No. 10. P. 1282—1287.
23. Svalova V. Landslide Risk: Assessment, Management and Reduction. NY: Nova Science Publishers, 2017. 253 p.
24. Svalova V. (ed.). Risk Assessment. InTech, London, 2019. 384 p.
25. Svalova V. (ed.) Natural Hazards and Risk Research in Russia. Switzerland, Springer, 2019. 400 p.
26. Vranken L., Vantilt G., Van Den Elckhaut M., Vandekerckhove L., Poesen J. Landslide risk assessment in densely populated hilly area. // Landslides. 2015. Vol. 12, No. 4. P. 787—798.

REFERENCES

1. Atlas of natural and man-made hazards and risks of emergency situations in the Russian Federation / Under tot. ed. S.K. Shoigu. Moscow: "Design. Information. Cartography", 2005.
2. Vagner B.B. Manifestation of dangerous natural processes and phenomena on the territory of the Moscow region and measures to reduce damage from them. 2009. URL: http://www.obrsouz.ru/O3_3.htm
3. Vagner B.B., Manucharyants B.O. Geology, relief and minerals of the Moscow region. Moscow: MGPU, 2003. 82 p.
4. Zaikanov V.G., Zaikanova I.N., Buldakova E.V. Geoeological and landscape-ecological analysis of the territories of existing MSW dumps in the Moscow Region // Sergeev Readings. 2018. Iss. 10. P. 65—70.
5. Kozlyakova I.V., Kozhevnikova I.A., Anisimova N.G., Ivanov P.V. Engineering-geological zoning of the Central Federal District of Russia in terms of the location of enterprises and landfills for the disposal of solid domestic waste // Sergeev Readings. 2018. Iss. 10. P. 74—77.
6. Kozlyakova I.V., Eremina O.N., Mironov O.K. Geological risk of urbanized territories (assessment and mapping on the example of Moscow) // Geoecology. 2018. No. 5. P. 53—65.
7. Makeev V.M., Makarova N.V., Ledenev V.N., Dorozhko A.L., Sukhanova N.V., Karfidova E.A., Korobova I.V. Fundamentals of the concept of geodynamic safety of environmentally hazardous engineering objects // Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocriology. 2015. No. 2. P. 99—110.
8. Moscow. Geology and city / Ed. Osipova V.I. and Medvedeva O.P. Moscow: Moscow textbooks and cartolithography, 1997. 400 p.
9. General geographic atlas "Moscow. Moscow Region". VTU GSh, 439 TsEVKF. Moscow, 2000.
10. Osipov V.I. Municipal solid waste management as a federal environmental project // Geoecology. Engineering geology, hydrogeology, geocriology. 2019. No. 3. P. 3—11.
11. Natural hazards in Russia. Assessment and management of natural risks / Ed. Ragozina A.L. Moscow:

- KROK, 2003. 316 p.
12. Recommendations for assessing the geological risk of Moscow / Ed. Ragozina A.L. Moskomarchitectura, GU GO EMERCOM of Moscow. Moscow: State Unitary Enterprise NIATs, 2002. 59 p.
 13. Svalova V.B. Reducing the risk of landslide processes // United All-Russian Scientific Bulletin. 2016. II. P. 79—83.
 14. Brikmann J. Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications // Environment Hazards. 2007. No. 7. P. 20—31.
 15. Corominas J., van Westen C., Frattini P., Cascini L., Mallet J.-P., et al. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk // Bulletin of Engineering Geology and Environment. 2014. No. 2. P. 209—263.
 20. Cutter S.L. Building disaster resilience: steps toward sustainability // Challenges in Sustainability. 2014. Vol. 1(2). P. 72—79.
 21. Cutter S.L., Finch C. Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards // Proc. Natl. Acad. Sc. 2008. Vol. 105(7). P. 2301—2306.
 22. Dilley M., Chen R.S., Deichmann W., Lerner-Lam A.L., Arnold M. Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis. Washington D.C.: The World Bank, 2005.
 23. Proske D. Catalogue of risks // Natural, Technical, Social and Health Risks. Springer. 2007.
 20. Jaedicke C., Van Den Eeckhaut M., Nadim F., Herva's J., Kalsnes B., Vangelsten B., Smith J., Tofani V., Ciurean R., Winter V., Thygeson K., Syre T., Smebye H. Identification of landslide hazard and risk 'hotspots' in Europe. // Bull Eng Geol Environ. 2014. No. 73. P. 325—339. DOI: 10.1007/s10064-013-0541-0
 21. Knight F.H. Risk, Uncertainty and Profit. Chicago: Houghton Mifflin Company, 1921.
 22. Svalova V.B. Mechanical-mathematical modeling and monitoring for landslide processes // Journal of Environmental Science and Engineering. 2011. Vol. 5, No. 10. P. 1282—1287.
 23. Svalova V. Landslide Risk: Assessment, Management and Reduction. NY: Nova Science Publishers, 2017. 253 p.
 24. Svalova V. (ed.). Risk Assessment. InTech, London, 2019. 384 p.
 25. Svalova V. (ed.) Natural Hazards and Risk Research in Russia. Switzerland, Springer, 2019. 400 p.
 26. Vranken L., Vantilt G., Van Den Elckhaut M., Vandekerckhove L., Poesen J. Landslide risk assessment in densely populated hilly area. // Landslides. 2015. Vol. 12, No. 4. P. 787—798.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Свалова В.Б. — разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Svalova V.B. — 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.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Свалова Валентина Борисовна — кандидат физико-математических наук, в.н.с. ФГБУН «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук»
13, Уланский пер., г. Москва 101000, Россия
e-mail: v-svalova@mail.ru
тел.: 8 (916) 206-41-47
SPIN-код: 6883-5190
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5597-2438>

Valentina B. Svalova — Cand. of Sci. (Phys. and Math.), Leading scientist, Sergeev Institute of Environmental Geoscience of RAS
13, Ulansky lane, Moscow 101000, Russia
e-mail: v-svalova@mail.ru
tel: 8 (916) 206-41-47
SPIN- code: 6883-5190
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5597-2438>

<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-35-46>

УДК 552.54



КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ В КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ РИФЕЯ ЗАПАДНОГО ОБРАМЛЕНИЯ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (НА ПРИМЕРЕ АЛАДЫНСКОЙ СВИТЫ)

Е.С. НОСКОВА^{1,*}, Г.В. АГАФОНОВА^{1,2}¹ ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»

36, шоссе Энтузиастов, г. Москва 105118, Россия

² ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Получены новые данные по строению разрезов аладынской свиты среднего рифея Каменской подзоны Енисейского кряжа (р. Иркинеева), указывающие на тектоническую природу брекчированных и полосчатых разностей доломитов, с которыми связаны зоны развития кавернозности — перспективные объекты для нефтегазопромысловых работ.

Цель. Обоснование тектонической природы и структурной приуроченности зон развития кавернозности в доломитах аладынской свиты.

Материалы и методы. Детально изучены разрезы карбонатов аладынской свиты вдоль р. Иркинеева, отобраны образцы и проведено лабораторное изучение пород, включающее: определение фазового состава пород рентгено-дифрактометрическим методом (ARL X'TRA), изучение образцов в шлифах (Leica DMLP) и на сканирующем микроскопе (TESCAN VEGA 3 LMN). Изучены и классифицированы кинематические индикаторы и обоснована модель формирования текстур в карбонатных породах.

Результаты. Проведено детальное послонное описание разреза, проиллюстрированное разномасштабными фотографиями; выявлены, охарактеризованы и систематизированы кинематические индикаторы указанных пород с привязкой к разрезу. Сделан вывод о генетической связи доломитовых брекчий, полосчатых доломитов и зон развития кавернозности с локальным надвигом, зафиксированным в основании разреза.

Заключение. Обоснованы тектоническая природа брекчированных и полосчатых доломитов аладынской свиты и структурный контроль зон развития кавернозности. Принята модель формирования текстур в тонкослоистых карбонатах в условиях продольного сжатия.

Ключевые слова: карбонатные брекчии, рифейские отложения, аладынская свита, кинематические индикаторы, Сибирская платформа

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование проводилось в рамках работы ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт».

Для цитирования: Носкова Е.С., Агафонова Г.В. Кинематические индикаторы в карбонатных породах рифея западного обрамления Сибирской платформы (на примере Аладынской свиты). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(3):35—46. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-35-46>

Статья поступила в редакцию 09.03.2022

Принята к публикации 23.09.2022

Опубликована 17.10.2022

* Автор, ответственный за переписку

KINEMATIC INDICATORS IN RIPHEAN CARBONATE ROCKS OF THE SIBERIAN PLATFORM WESTERN FRAMING (ON THE EXAMPLE OF THE ALAD'INSKAYA FORMATION)

EKATERINA S. NOSKOVA^{1,*}, GALINA V. AGAFONOVA^{1,2}

¹ All-Russian Scientific Research Geological Oil Institute
36, Highway Enthusiasts, Moscow 105118, Russia

² Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117485, Russia

ABSTRACT

Introduction. New data on the structure of sections of the Middle Riphean Alad'inskaya Formation at the Kamenskaya subzone of the Yenisei Range (r. Irkineeva) were obtained. These sections indicate the tectonic nature of brecciated and banded dolomite varieties with the associated areas of cavern development, representing promising objects of oil and gas exploration works.

Aim. To substantiate the tectonic nature and structural confinement of cavern development areas in dolomites of the Alad'inskaya Formation.

Materials and methods. The sections of Alad'inskaya Formation carbonates, located along the Irkineeva river, were studied, including determination of the sample phase composition by the X-ray diffraction method (ARL X'TRA) and examination of samples in sections (Leica DMLR) and by a scanning electron microscope (TESCAN VEGA 3 LMH). Kinematic indicators were studied and classified; a model of structural formation in carbonate rocks was substantiated.

Results. A detailed layer-wise description of the studied section, illustrated by various-scale images, was carried out. The kinematic indicators of specified rocks with a reference to a particular section were revealed, described and systematized. A conclusion is made about the genetic association of dolomite breccia, banded dolomites, and cavern development areas with a local thrust, observed at the base of the studied section.

Conclusion. The tectonic nature of brecciated and banded dolomites of the Alad'inskaya Formation and the structural control of cavern development areas are substantiated. As a result, the model of structural formation in lamellar carbonates under longitudinal compression is verified.

Keywords: carbonate breccia, Riphean deposits, Alad'inskaya Formation, kinematic indicators, Siberian platform

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

Financing: the study was carried out as part of the work of the Federal State Budgetary Institution "VNIGNI"

For citation: Noskova E., Agafonova G. Kinematic indicators in Riphean carbonate rocks of the Siberian Platform Western framing (on the example of the Alad'inskaya Formation). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(3):35—46. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-35-46>

Manuscript received 09 March 2022

Accepted 23 September 2022

Published 17 October 2022

* Corresponding author

Нефтегазоносность карбонатных толщ рифея запада Сибирской платформы подтверждена открытием месторождений нефти и газа, в том числе — крупнейших по запасам углеводородов. Сложное строение древних многократно дислоцированных толщ, слабая обнаженность в пределах

платформы требуют комплексного подхода, включающего изучение обрамления платформы.

Рифейским отложениям Енисейского кряжа, одного из опорных районов развития древних свит, посвящены многие работы ([1–9] и др.) Авторами статьи в пределах западного обрамления

платформы изучены представительные выходы аладьинской свиты среднего рифея протяженностью более 200 м, выявлены особенности распределения зон с повышенной кавернозностью и их связь с локальными дислокациями (рис. 1). Рассмотрены литологические типы пород аладьинской свиты. Выявлены и систематизированы кинематические индикаторы геодинамических условий преобразования пород, широко развитые в строматолитовых доломитах и в доломитовых брекчиях, которые часто связаны между собой постепенными переходами [11]. Особое внимание уделено изучению зон развития кавернозности, показан их тектонический контроль.

Геологическое строение

Енисейский кряж представляет собой складчато-надвиговое сооружение на западной окраине Сибирской платформы, в пределах которого на дневную поверхность выходят мощные, порядка 10—12 км, преимущественно карбонатные толщи рифея, объединенные в сухопитскую, тунгусикскую и ослянскую серии.

Аладьинская свита завершает разрез сухопитской серии среднего рифея. По существующим представлениям ([3, 7, 9] и др.) карбонатные породы аладьинской свиты сопоставляются с юрубченской свитой рифея внутренних районов Сибирской платформы, с которой связаны значительные перспективы нефтегазоносности региона. Породы свиты развиты в пределах Иркинеевского выступа

(т. 1—3 на рис. 1 и 2), Ангаро-Питского синклинория (т. 4—10), в юго-восточной части Татарского антиклинория, в бассейне верхнего и среднего течения р. Большой Пит (т. 11—14), р. Большой Черной [5]. В самых восточных разрезах аладьинская свита (т. 1—3) представлена доломитами серыми, светло-серыми мелкокристаллическими, нередко брекчированными, в нижней части обладающими тонкой полосчатостью, часто с неравномерно распределенными жилками белого доломита. Верхняя часть свиты сложена доломитами светло-серыми, иногда розоватыми и блекло-сиреневыми мелкокристаллическими, сахаровидными не яснополосчатыми, толсто слоистыми и массивными. Западнее, в нижнем течении р. Ангары (т. 5—8, рис. 2), среди доломитов появляются пачки черных глинистых сланцев (до 100—130 м), линзы и прослои черных кремней (до 15 см). Мощность свиты увеличивается до 700—800 м. К северу, в бассейне р. Талой и Киргитя (т. 9, рис. 2) и в верховьях р. Каменки (т. 10, рис. 2) в составе свиты кроме доломитов появляются известняки с пластовыми и секущими прожилками, со штокверками кристаллического доломита и магнетита, местами с тальком. Еще севернее, вдоль западного крыла Ангаро-Питского синклинория, в верховьях рч. Шарыповского, в составе свиты существенную роль приобретают доломиты темно-серые и черные, среди которых появляются черные известняки, мощность свиты уменьшается до 200—250 м [5].

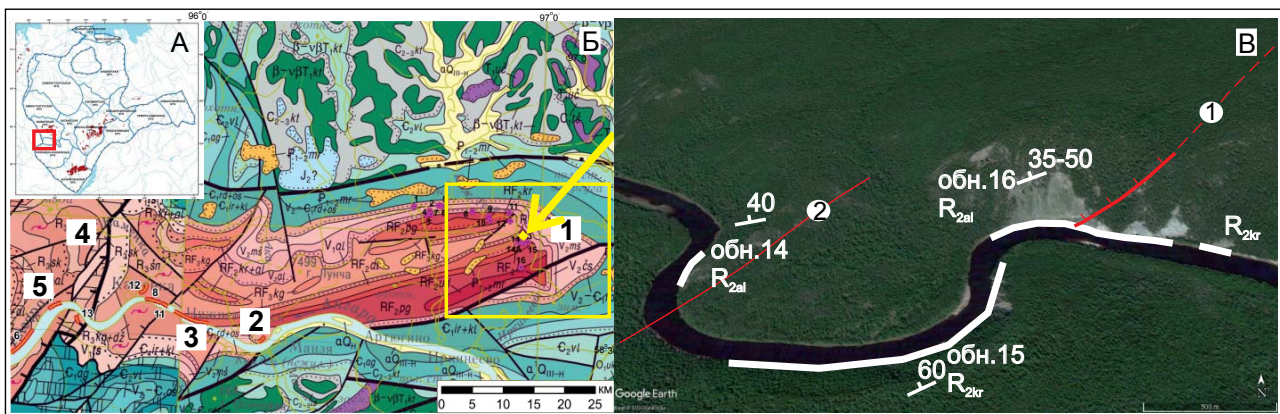


Рис. 1. Район работ. Обзорная карта (А). Фрагмент геологической карты района работ (Б); 1—5 — номера разрезов аладьинской свиты; желтый контур — участок работ, стрелка — обнажение. Фрагмент космоснимка с обнажениями аладьинской свиты (14 и 16) и свиты карточки (15) (В); разломы: 1 — надвиг в основании тектонических брекчий обн. 16, 2 — сдвиг, ограничивающий обн. 14

Fig. 1. Work area. Overview map (A). Fragment of the geological map of the work area (B); 1—5 — numbers of sections of the Aladinskaya Formation; yellow outline — work area, arrow — outcrop. Fragment of a satellite image showing outcrops of the Aladinskaya Formation (14 and 16) and the Kartochka Formation (15) (C); faults: 1 — thrust at the base of tectonic breccias outcrop. 16, 2 — shift limiting exposure 14

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

В бассейне р. Удерея и Большого Пита (т. 11, 13, рис. 2) выделяется толща темных известняков мощностью около 200 м. У устья р. Оявол залегают типичные для аладынской свиты доломиты серые, темно-серые и черные мелкокристаллические, массивные. Породы обычно полосчатые и в нижней части разреза содержат мелкие пластовые и секущие линзочки, а также жилки доломита белого мелкокристаллического. В западных районах, в нижнем течении р. Большой Пит, породы свиты

замещаются сланцами, не отличимыми от лежащих выше, и аладынская свита здесь не выделяется (т. 12, рис. 2). В северном и северо-западном направлениях доломиты свиты переходят в доломитизированные, местами чистые известняки.

Породы свиты залегают согласно, без следов размыва, на тонкоплитчатых известняках свиты карточки. Граница проводится по смене известняков пестро окрашенных глинистых доломитами серыми, темно-серыми. Сверху доломиты аладынской

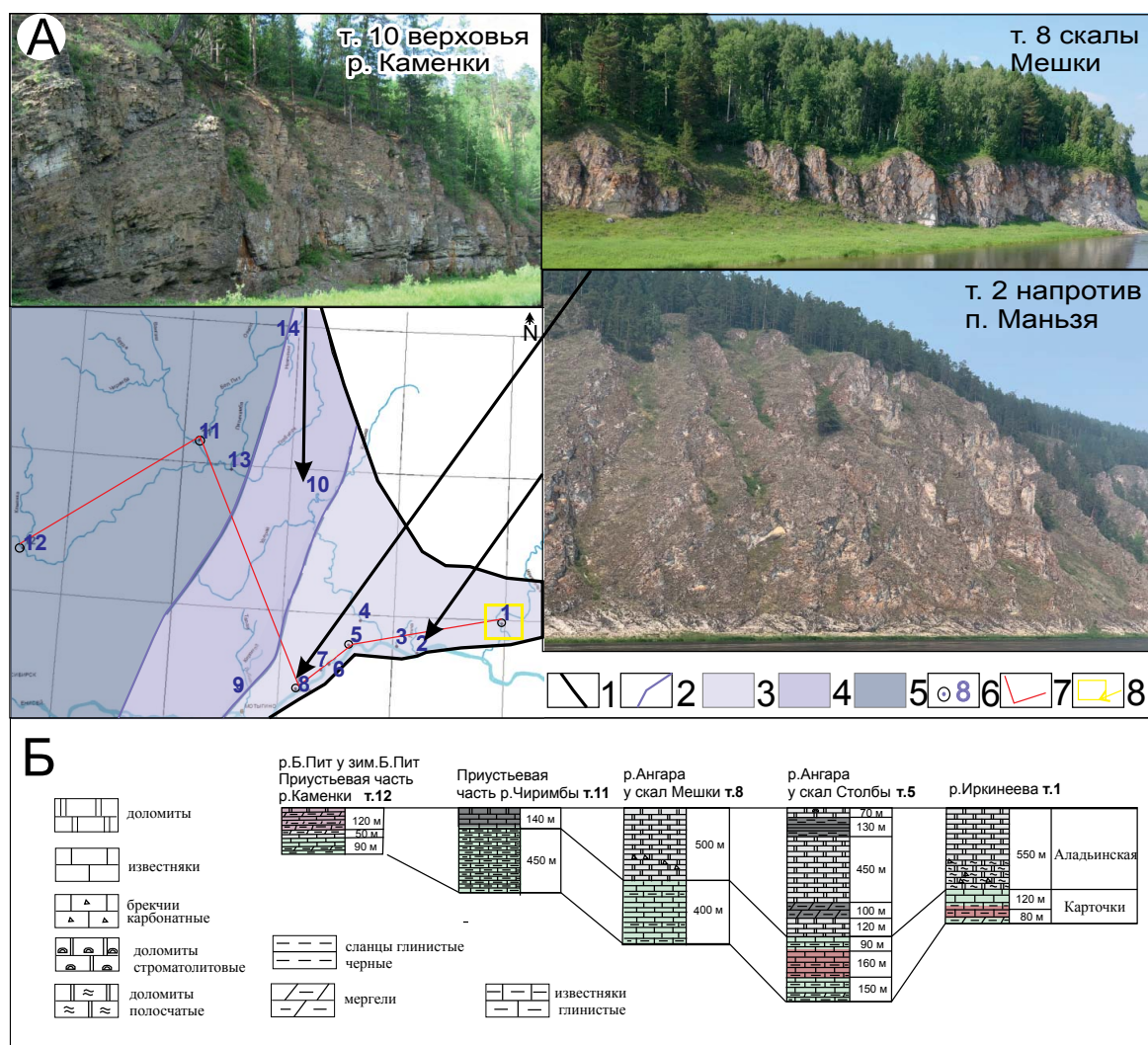


Рис. 2. Схема фациальных зон аладынской свиты с линией профиля и иллюстрациями типовых обнажений (А). Профиль разрезов аладынской и свиты карточки через Енисейский кряж (Б).

Границы: 1 — Енисейского кряжа; 2 — фациальных зон аладынской свиты; породы: 3 — преимущественно доломиты; 4 — доломиты с прослоями аргиллитов; 5 — глинисто-карбонатного состава с отдельными пачками известняков; 6 — точки типовых разрезов аладынской свиты; 7 — линия разреза; 8 — участок работ

Fig. 2. Scheme of facies zones of the Aladinskaya Formation with a profile line and illustrations of typical outcrops (A). Profile of sections of the Aladinskaya and Kartochka Formations across the Yenisei Ridge (B).

Borders: 1 — Yenisei Ridge; 2 — facies zones of the Aladinskaya Formation; rocks: 3 — predominantly dolomites; 4 — dolomites with mudstone interbeds; 5 — clay-carbonate composition with individual limestone packs; 6 — points of typical sections of the Aladinskaya Formation; 7 — section line; 8 — work site

свиты перекрываются с несогласием глинистыми и алевроитисто-глинистыми толщами красногорской свиты тунгусикской серии. Мощность аладынской свиты изменяется от 500 м в бассейне р. Иркинеева до 800 м в районе скалы Потоскуйский Бык (рис. 2). Северные разрезы сокращаются до 150—200 м.

В статье рассматриваются разрезы аладынской свиты восточного типа, представленные доломитами от темно-серых часто полосчатых до светло-серых сахаровидных с прослоями и линзами брекчированных доломитов мощностью до 25 м. Породы нарушены многочисленными минерализованными

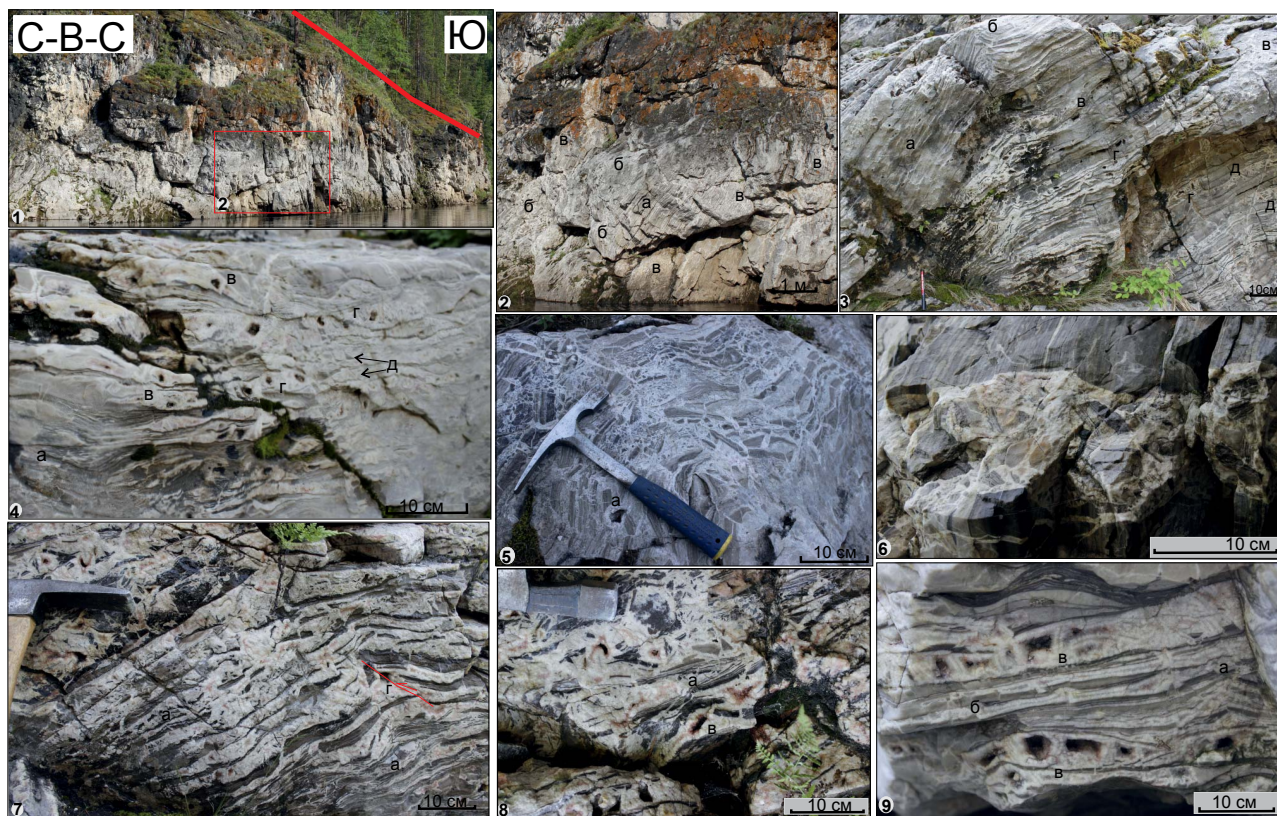


Рис. 3. Обнажение 14, аладынская свита, левый берег р. Иркинеева. 1, 2 — южное окончание обнажения, чередование блоков полосчатых (а) и брекчированных (б) доломитов и промежуточных разновидностей (в); 3, 4 — полосчатые доломиты вблизи участков локального изгибания пластов. Полосчатость проявлена фрагментарно, отмечены как плавные переходы, так и резкие границы между полосчатыми доломитами и брекчированными; наблюдается постепенное появление полосчатых разновидностей (г), взламывание прослоев при локальном изгибании (д), единичные каверны (е); вращение при послойном перемещении формирует: последовательно расположенные каверны (ж), и т.н. элементы «домино» (з); 5, 6 — преимущественно брекчированные разновидности доломитов; полосчатость практически не сохранилась, яснокристаллический доломит жил является матриком, в котором располагаются с различной степенью упорядоченности взломанные прослои доломита микритового, единичные каверны (и); 7, 8, 9 — участки зарождения антиаксиальных жил; плавное загибание и сплющивание литокластов (к); дробление и вращение — зарождение т.н. элементов «домино» (л); каверны правильной геометрической формы в линзах и прослоях карбонатных жил; прямоугольные, треугольные формы каверн (м); слепые обратные взбросы (н)

Fig. 3. Outcrop 14, Aladinskaya Formation, left bank of the r. Irkineeva. 1, 2 — southern end of the outcrop, alternating blocks of banded (a) and brecciated (б) dolomites and intermediate varieties (в); 3, 4 — banded dolomites near areas of local bed bending. The banding is fragmentary; both smooth transitions and sharp boundaries between banded and brecciated dolomites are noted; there is a gradual appearance of banded differences (г), cracking of interlayers during local bending (д), single cavities (е); rotation during layer-by-layer movement forms: sequentially located cavities (ж), and the so-called. domino elements (з); 5, 6 — predominantly brecciated dolomite varieties; banding is practically not preserved, clear-crystalline dolomite veins is a matrix in which cracked interlayers of micritic dolomite, single caverns (и) are located with varying degrees of order; 7, 8, 9 — sites of origin of anti-axial veins; smooth bending and flattening of lithoclasts (к); crushing and rotation — the birth of the so-called. domino elements (л); regular geometric cavities in lenses and interbeds of carbonate veins; rectangular, triangular caverns (м); blind reverse faults (н)

ми трещинами, согласными слоистости и секущими ее. Ранее исследователями отмечалось широкое развитие осадочных доломитовых брекчий двух разновидностей: сингенетических брекчий взламывания и брекчий обрушения [10]. Текстуры особенности свиты традиционно рассматривались как седиментационные, сформированные в процессе осадконакопления, что использовалось для фациального анализа региона.

Результаты исследований

Район исследований на обзорной схеме обозначен желтым контуром и т. 1 (рис. 1, 2). Обнажения аладынской свиты (обн. 14 и 16, рис. 1В) на левом берегу р. Иркинеева при анализе космоснимков увязываются в единую зону дислокаций, приуроченную к региональному разлому.

Обнажение 14 на левом берегу р. Иркинеева имеет протяженность около 60 м, сложено преимущественно доломитовыми брекчиями, с участками полосчатых доломитов (рис. 3).

Полосчатые разности представлены чередованием тонких прослоев доломитов серых мелкокристаллических и жилами доломитовыми, часто крупно-грубокристаллическими, залегающими согласно слоистости, протягивающимися на десятки метров при толщине менее сантиметра, иногда до 2—3 см (рис. 3, фото 3, 4, 7). Брекчии и полосчатые разности чередуются в разрезе обнажения 14, составляют смежные сегменты различного размера — от сантиметров до десятков метров, иногда связаны постепенными переходами с пластичным изгибанием прослоев доломита микрокристаллического, часто границы резкие (рис. 3, фото 2, 5, 6). Отмечены слепые надвиги в результате обратного разрушения жилы во время изгибания складки (рис. 3, фото 7). Широко развиты участки кавернозности и единичные каверны — часто правильной треугольной и прямоугольной формы (рис. 3, фото 4, 5, 8, 9).

Полосчатые разности в обнажении 14 наблюдаются, как правило, около участков изгибания пластов, классифицированы как синтаксиальные жилы (рис. 3, фото 3, 4). Гораздо шире они представлены в обнажении 16 (рис. 5, 6). В некоторых работах подобные образования обозначаются как «bedding-parallel veins» [13].

Возникновение таких жил связывается с контрастными механическими свойствами пород в случае малых сил сцепления между слоями и геодинамическими обстановками продольного сжатия (рис. 4). В слоистых объемах — в нашем случае первичная

порода пластовые строматолитовые доломиты — при воздействии вдоль слоистости сначала происходит укорочение объема, затем потеря устойчивости при активно развитом межслоевом проскальзывании. Наряду с трансляционным скольжением синтетектоническая рекристаллизация является важным механизмом пластического деформирования. Эти механизмы дополняют, активизируют друг друга и обычно протекают совместно. Результат — развитие вдоль плоскостей напластования жилы. При последующем изгибе слоев образуются полости, происходит формирование антитаксиальных жил с элементами вращения (рис. 4). К этим участкам приурочены зоны развития повышенной кавернозности.

Обнажение 16 на левом берегу реки протягивается более чем на 400 м (рис. 5). Представлено доломитами, преимущественно полосчатыми разностями с прослоями и линзами доломитовых брекчий, неравномерно кавернозными. В нижней части разреза (северо-восточная часть обнажения) встречена зона брекчированных пород (А—Г на рис. 5, 6), ограниченная снизу согласным слоистости надвигом (ЗН на рис. 5). Ранее этот уровень обозначался как граница аладынской и свиты карточки. Выполненные работы показали, что зона надвига (ЗН) находится внутри аладынской свиты. Выше надвига свита сложена брекчиями различного типа и перекрывающимися их полосчатыми

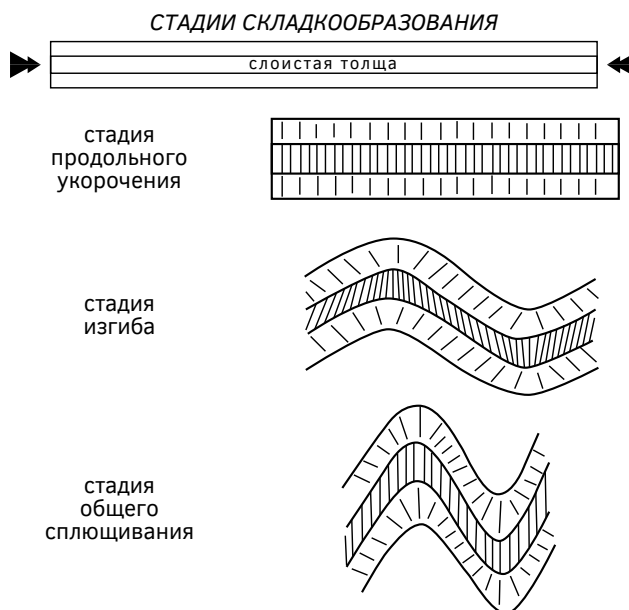


Рис. 4. Стадийность формирования складок в слоистых объемах (Талицкий, 1989)

Fig. 4. Staged formation of folds in layered volumes (Talitsky, 1989)

доломитами (Д на рис. 5, 6) общей мощностью более 200 м. С удалением от разлома в строении брекчий отмечается зональность в изменении пород, показанная на рисунках 5 и 6.

Ниже надвига залегают доломиты серые микрозернистые, среднеплитчатые, неотчетливо тонко волнисто слоистые, слабо измененные тектоническими процессами, в шлифах наблюдается микросланцеватость (4 на рис. 6), с прослоями и линзами кремней до 2—3 см в верхней части и жилами кальцита мощностью первые сантиметры (пачка 1 на рис. 5, тип 1 на рис. 6). Мощность пачки более 50 м.

Выше надвига наблюдается толща, представленная карбонатным тектоническим меланжем мощностью 60—80 м. В основании располагаются прослои карбонатных брекчий различного типа снизу вверх (А—Г на рисунке 5, типы 2—5 на рисунке 6):

А — доломитовая брекчия серая, местами красноватая, рассыпчатая, с обломками размером первые сантиметры, не испытывавшими смещения. Беспорядочные притертые трещины расположены хаотично; поверхность трещин извилистая (5 на рисунке 6), плотность около 50 на 1 метр; трещины более высокого ранга разделяют линзовидные микроблоки мощностью 0,2—0,4 м (3 на рисунке 6). Ортогональные слоистости стилолитовые швы (4 на рисунке 6). Мощность 0,4 м;

Б — доломитовая брекчия серая, местами красноватая, связанная, среднеплитчатая, крепкая, с обломками доломитов серых микрозернистых не окатанных (6 на рисунке 6). Выделены три системы трещин: согласные поверхности надвига и две ортогональные системы трещин с ровной, слабо волнистой поверхностью. Мощность 25—30 см;

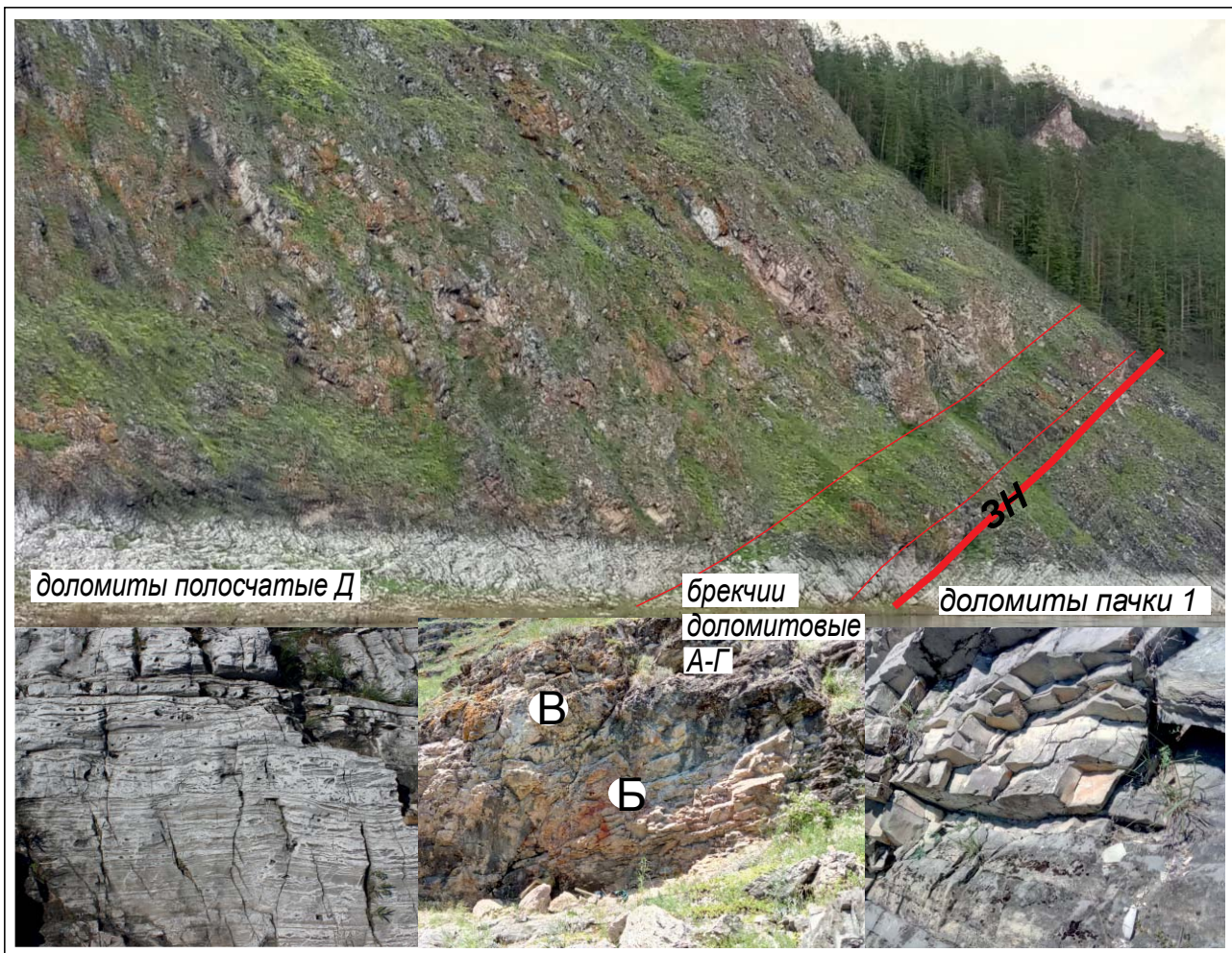


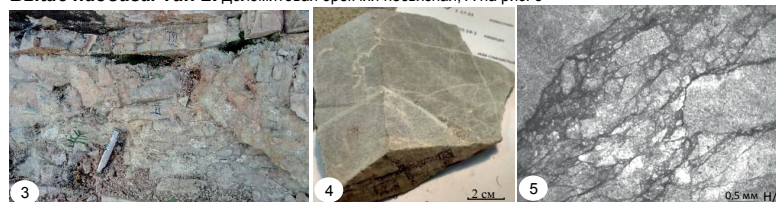
Рис. 5. Обнажение 16 (северо-восточная часть), аладынская свита. Пояснения в тексте

Fig. 5. Outcrop 16 (northeastern part), Aladinskaya Formation. Explanations in the text

Ниже надвига. Тип 1. Доломиты пачки 1 — известковые средне-толстоплитчатые пелитоморфно-микрокристаллические неотчетливо тонковолистисто-слоистые с пленками буроватого органо-минерального вещества по плоскостям наложения



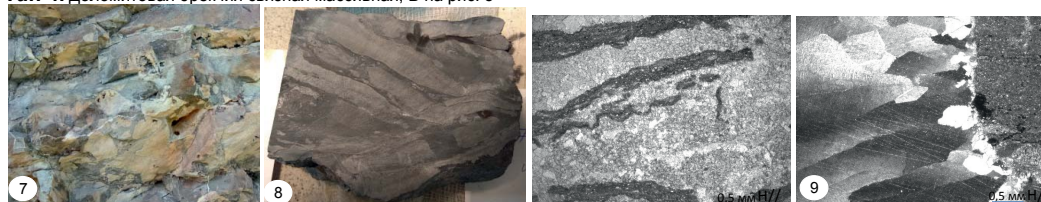
Выше надвига. Тип 2. Доломитовая брекчия несвязная, А на рис. 5



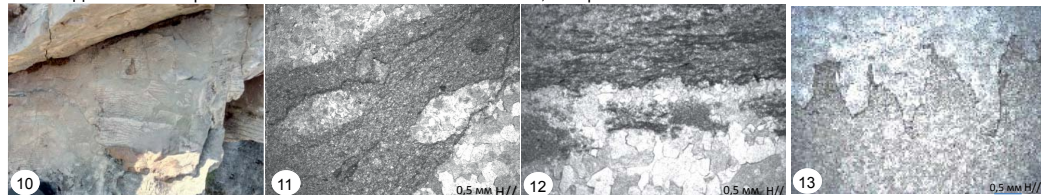
Тип 3. Доломитовая брекчия связанная среднеплитчатая, Б на рис. 5



Тип 4. Доломитовая брекчия связанная массивная, В на рис. 5



Тип 5. Доломитовая брекчия связанная комковатая неяснослоистая, Г на рис. 5



Тип 6. Доломиты серые с многочисленными жилами доломитовыми по напластованию (**полосчатые**) и секущими

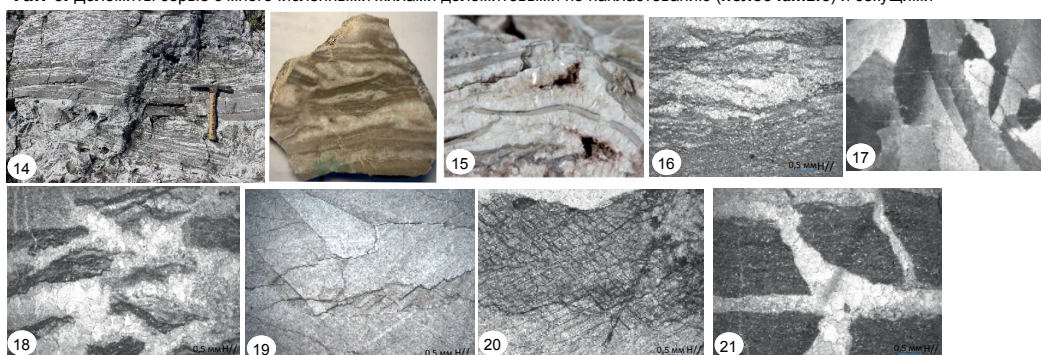


Рис. 6. Тектоническая преобразованность доломитов аладьинской свиты в зоне влияния надвига. Тип 1 — доломиты пачки 1 под надвигом; 2—5 — доломитовые брекчии над надвигом (А—Г); 6 — доломиты полосчатые над зоной брекчирования (Д)

Fig. 6. Tectonic transformation of the dolomites of the Aladinskaya Formation in the thrust zone. Type 1 — dolomites of pack 1 under thrust; 2—5, dolomitic breccias over thrust (A—G); 6 — banded dolomites above the brecciation zone (D)

В — доломитовая брекчия серая связная, плотная, крепкая, с обломками первичной породы и жильных включений (размер первые сантиметры, средняя степень окатанности), количество обломков около 30%, матрикс представлен доломитом серым, иногда красноватым микрокристаллическим. Отдельные пласты и линзы, разделенные слабеволнистыми трещинами, характеризуются толщинами 3—5 см. Трещины притертые, отмечаются сопряженные трещины — сколы Риделя, повсеместно развиты стилолитовые швы. Встречаются отдельные каверны размером от первых миллиметров до первых сантиметров, приуроченные к обломкам жильного доломита; отмечаются: пластическое изгибание вытянутых обломков, будинирование, указывающие на скольжение отдельных фрагментов относительно друг друга. Мощность прослоя 40—50 см;

Г — доломитовая брекчия серая связная, плотная, крепкая, комковатая, не яснослоистая, с обломками полосчатых разностей доломита и жильных включений (размер до первых десятков сантиметров, форма различная, преимущественно не окатанные и слабо окатанные). Количество обломков меняется от 80 до 50%, матрикс представлен доломитом серым микрокристаллическим. Трещины извилистые притертые, повсеместно изогнутые, отмечаются стилолитовые швы изогнутые, с амплитудой зубцов 1—2 см. Прослой составлен вытянутыми изогнутыми микроблоками «чечевицеобразной» формы, расположенные под углом 10—12 градусов к надвигу, толщиной 1,5—2,0 м. Мощность прослоя около 6 м.

Верхняя часть тектонического меланжа представлена доломитами полосчатыми с прослоями и линзами доломитов брекчированных (пачка Д, тип 6 на рисунках 5, 6). Брекчии в полосчатых доломитах представлены обломками первичного доломита серого микрокристаллического, часто пластично изогнутого в яснокристаллическом белом доломите, аналогичном перекристаллизованным жилам полосчатых разностей. Встречены участки, где наблюдается плавный переход от прослоя доломита полосчатого через изогнутые деформированные разности к прослоям брекчий. Залегание полосчатых доломитов согласно с залеганием ненарушенных пород ниже надвига, отделяются от приразломных брекчий четко выраженным уступом, протягиваются вдоль западной части обнажения более чем на двести метров.

Зоны максимального развития кавернозности связаны с формированием антитаксиальных жил

на участках изгибания пластов. Они приурочены к границе брекчированных разностей доломитов (Г) и полосчатых (Д), находятся на удалении от поверхности надвига около 30 м, а также встречаются в толще полосчатых доломитов в местах изгиба пластов.

Приуроченность брекчий к разлому, постепенный переход от рыхлых катаклазитов (тип 2, рис. 6) около поверхности перемещения к протомилонитам (тип 5, рис. 6) около участка развития полосчатых разностей через различные типы связанных катаклазитов, а также вышеуказанные особенности строения полосчатых доломитов указывают на их тектоническую природу. На макроуровне и на микроуровне выявлен ряд кинематических показателей процессов деформации, которые позволяют реконструировать условия их формирования.

Ключевым элементом являются карбонатные жилы: синтаксиальные и антитаксиальные с характерными макро- и микроструктурами, указывающими на многократно прогрессирующую в них деформацию, образование в результате син-тектонического расплавления материала и перекристаллизации под давлением в условиях продольного сжатия (рис. 3—6).

Основные микроструктуры: повернутые блоки — структуры, вращающиеся в стиле «домино» (рис. 3 № 4, д; рис. 6 № 21); асимметричные ступени с двугранной морфологией на границах жил (рис. 6 № 20); переход от неизмененного доломита через растянутые и изогнутые литокласты доломита до скоплений волокнистой разности (рис. 3 № 2, 3, 5), неравномерные структуры с кристаллами вытянутыми, лопастными (рис. 6 № 9, 17), ламинированными зонами с волокнистым доломитом (рис. 6 № 11, 12, 16); кристаллы доломита с волнистым погасанием (рис. 6 № 9); цепочки будин, часто ромбовидные и сигмоидальные будины; кулисообразно расположенные структуры в форме «рыб» (рис. 6 № 18). Структуры большего порядка: не-связные и связанные брекчии различного масштаба (рис. 3 фото 5, 6; рис. 6 тип 1—5), слепые надвиги в результате обратного разрушения жилы во время изгибания складки (рис. 3 фото 7), участки кавернозности и единичные каверны часто правильной треугольной и прямоугольной формы (рис. 3 фото 4, 5, 8, 9, рис. 6 № 15).

Кинематические индикаторы сгруппированы по этапам и стадиям процесса продольного сжатия (рис. 7).

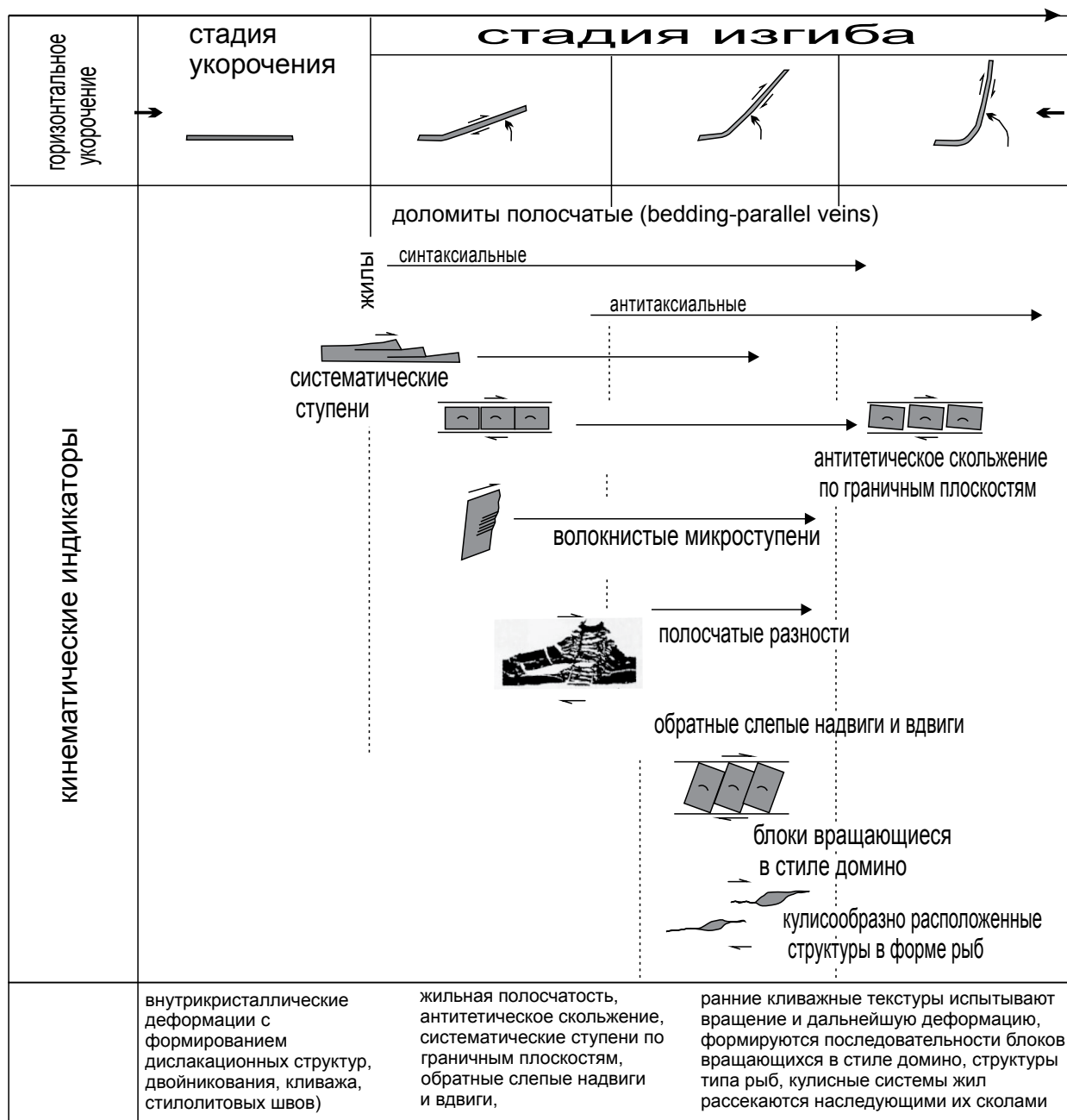


Рис. 7. Модель формирования текстур в тонкослоистых карбонатах на начальных стадиях продольного сжатия по Rybak-Ostrowska B., 2014, с дополнениями

Fig. 7. Texture formation model in thin-layered carbonates at the initial stages of longitudinal compression according to Rybak-Ostrowska B., 2014, with additions

Заклучение

Авторами показана тектоническая природа брекчий аладынской свиты обнажений 14 и 16. Это явление имеет широкое распространение, схожие текстуры встречены в обнажениях вдоль реки Ангары — в районе скал Мешки, Выдумский Бык, напротив п. Манзы

и в керне скважин западного склона Байкитской антеклизы. Что позволяет предполагать широкое развитие описанных процессов, связанных с глобальной тектонической перестройкой в регионе. Предполагается среднерифейское время тектонической перестройки, поскольку в перекрывающих верхнерифейских карбонатах

тунгусикской серии подобные образования не встречены.

Полученные результаты необходимо использовать при построении геологических моделей, прогно-

зе зон развития кавернозности при проведении нефтегазопроисловых работ. Кроме того, для немых толщ рифея эта особенность может быть использована как признак при проведении корреляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волобуев М.И., Зыков С.И., Ступникова Н.И. Геохронология докембрийских формаций Саяно-Енисейского региона Сибири // В кн.: Актуальные вопросы современной геохронологии. М.: Наука, 1976. С. 96—123.
2. Вотак О.А. Тектоника докембрия западной окраины Сибирской платформы. М.: Наука, 1968. 138 с.
3. Гутина О.В. Комплексное обоснование стратиграфической схемы рифейских отложений юго-западной части Сибирской платформы. Новосибирск: Изд. СО РАН, 2007. 180 с.
4. Кириченко Г.И. Стратиграфия докембрия западной окраины Сибирской платформы и ее складчатого обрамления // Труды ВСЕГЕИ. 1967. Т. 112. С. 3—48.
5. Кириченко В.Т., Зуев В.К. и др. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1:1 000 000. Серия Ангара-Енисейская. Лист О-47 — Братск. Объяснительная записка. — СПб.: К.ф ВСЕГЕИ, 2012. 470 с. + 11 вкл.
6. Кирмасов А.Б. Основы структурного анализа. М.: Научный мир, 2011. 368
7. Семихатов М.А. К стратиграфии верхнего протерозоя северо-восточной части Енисейского кряжа // Доклады АН СССР. 1960. Т. 131. № 1. С. 164—167.
8. Семихатов М.А. Рифей и нижний кембрий Енисейского кряжа. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 242 с.
9. Хоментовский В.В., Шенфиль В.Ю., Якшин М.С., Бутаков Е.П. Опорные разрезы отложений верхнего докембрия и нижнего кембрия южной окраины Сибирской платформы. М.: Наука, 1972. 356 с.
10. Хоментовский В.В., Шенфиль В.Ю., Якшин М.С. Рифей Сибирской платформы // Геология и геофизика. 1985. № 7. С. 25—33.
11. Хоментовский В.В. Верхний рифей Енисейского кряжа // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 9. С. 921—933.
12. Шенфиль В.Ю. Поздний докембрий Сибирской платформы. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 185 с.
13. Rybak-Ostrowska B., Konon A., Nejbert K., Koztowski A. Bedding-parallel calcite veins in the Holv Cross Mountains Fold Belt, central Poland // Geological Quarterly. 2014. No. 58(1). P. 99—116.

REFERENCES

1. Volobuev M.I., Zykov S.I., Stupnikova N.I. Geochronology of the Precambrian formations of the Sayano-Yenisei region of Siberia // In the book: Topical issues of modern geochronology. M.: Nauka, 1976. P. 96—123.
2. Votakh O.A. Precambrian tectonics of the western margin of the Siberian Platform. M.: Nauka, 1968. 138 p.
3. Gutina O.V. Integrated substantiation of the stratigraphic scheme of the Riphean deposits of the south-western part of the Siberian Platform. Novosibirsk: Izd. SO RAN, 2007. 180 p.
4. Kirichenko G.I. Stratigraphy of the Precambrian of the western margin of the Siberian platform and its folded framing // Proceedings of VSEGEI. 1967. V. 112. P. 3—48.
5. Kirichenko V.T., Zuev V.K. etc. State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000. Angara-Yenisei series. Sheet O-47 — Bratsk. Explanatory note. — St. Petersburg: K. f VSEGEI, 2012. 470 p. + 11 incl.
6. Kirmasov A.B. Fundamentals of structural analysis. M.: Scientific world, 2011. 368 p.
7. Semikhatov M.A. To the stratigraphy of the Upper Proterozoic of the northeastern part of the Yenisei Ridge // Doklady AN SSSR. 1960. V. 131. No. 1. P. 164—167.
8. Semikhatov M.A. Riphean and Lower Cambrian of the Yenisei Ridge. M.: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1962. 242 p.
9. Khomentovsky V.V., Shenfil V.Yu., Yakshin M.S., Butakov E.P. Reference sections of the Upper Precambrian and Lower Cambrian deposits of the southern margin of the Siberian Platform. M.: Nauka, 1972. 356 p.
10. Khomentovsky V. V., Shenfil V.Yu., M. S. Yakshin, Riphean of the Siberian Platform, Geol. 1985. No. 7. P. 25—33.
11. Khomentovsky V.V. Upper Riphean of the Yenisei Ridge // Geology and Geophysics. 2007. V. 48, No. 9. P. 921—933.
12. Shenfil V.Yu. Late Precambrian of the Siberian Platform. Novosibirsk: Science. Sib. Otdnie, 1991. 185 p.
13. Rybak-Ostrowska B., Konon A., Nejbert K., Koztowski A. Bedding-parallel calcite veins in the Holv Cross Mountains Fold Belt, central Poland // Geological Quarterly. 2014. No. 58(1). P. 99—116.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Носкова Е.С. — внесла вклад в разработку концепции статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Агафонова Г.В. — внесла вклад в разработку концепции статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Ekaterina S. Noskova — contributed to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, finalized the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Galina V. Agafonova — contributed to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, finalized the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Носкова Екатерина Станиславовна* — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»

36, шоссе Энтузиастов, г. Москва 105118, Россия
тел.: +7 (495) 673-51-04, +7 (915) 178-62-36
e-mail: noskova@vnigni.ru

Ekaterina S. Noskova* — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Senior Researcher, All-Russian Research Geological Oil Institute

36, Highway Enthusiasts, Moscow 105118, Russia
tel.: +7 (495) 673-51-04, +7 (915) 178-62-36
e-mail: noskova@vnigni.ru

Агафонова Галина Валентиновна — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»; ведущий научный сотрудник лаборатории литологии НАЦ ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»

36, шоссе Энтузиастов, г. Москва 105118, Россия
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
тел.: +7 (495) 673-24-96, +7 (963) 775-77-86
e-mail: agafonovagalina@inbox.ru

Galina V. Agafonova — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof. of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting; Leading Researcher of the Laboratory of Lithology of the National Center All-Russian Research Geological Oil Institute

36, Highway Enthusiasts, Moscow 105118, Russia
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117485, Russia
tel.: +7 (495) 673-24-96, +7 (963) 775-77-86
e-mail: agafonovagalina@inbox.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-47-58>

УДК 553.98(575.4)



УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЛОВУШЕК И ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ И ГАЗА В ЗАПАДНОЙ ТУРКМЕНИИ

У.С. СЕРИКОВА, М.А. АЛЛАЗАРОВА*, Е.С. НЮРЕНБЕРГ

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Исследование условий развития разрывных нарушений дает возможность сделать выводы о том, что формирование и разрушение различных залежей связаны разрывами, различными по механизму своего образования. Определенное значение для оценки этих разрывов в отношении формирования или же расформирования залежей имеет литологический состав контактирующих по нему пород. Основную роль здесь играют преимущественно глинистые раздели, материал которых заполняет трещины, препятствуя разрушению залежей углеводородов в отдельных свитах среднеплиоценовых отложений.

Цель. Уточнение условий формирования ловушек и залежей нефти и газа в пределах Западной Туркмении.

Материалы и методы. Анализ опубликованной литературы и фактических данных.

Результаты. Таким образом, разрывные нарушения являются важнейшим фактором формирования залежей и играют исключительно созидательную роль, формируя залежи нефти тектонически-экранированного типа.

Ключевые слова: ловушка, залежь, нефть, газ, Туркменистан, Туркменский сектор, Каспийское море, Кавказ, Апшерон, нефтегазоносный бассейн

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Серикова У.С., Алланазарова М.А., Нюренберг Е.С. Условия формирования ловушек и залежей нефти и газа в Западной Туркмении. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(3):47—58. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-47-58>

Статья поступила в редакцию 10.02.2022

Принята к публикации 28.09.2022

Опубликована 17.10.2022

* Автор, ответственный за переписку

CONDITIONS FOR THE FORMATION OF TRAPS AND OIL AND GAS DEPOSITS IN WESTERN TURKMENISTAN

ULYANA S. SERIKOVA, MEHRIBAN A. ALLANAZAROVA*, EKATERINA S. NYURENBERG

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

ABSTRACT

Introduction. The study of the conditions for the development of discontinuous disturbances makes it possible to draw conclusions that in the formation and destruction of various deposits, they are connected by discontinuities different in the mechanism of their formation. The lithological composition of the rocks in contact with it has a certain significance for assessing these gaps in relation to the formation or disbandment of deposits. The main role here is played mainly by clay sections, the material of which fills the cracks, preventing the destruction of hydrocarbon deposits in individual suites (Middle Pliocene deposits).

Aim. Identification of conditions for the formation of traps and deposits of oil and gas within western Turkmenistan.

Materials and methods. Analysis of published literature and factual data.

Results. Thus, discontinuous disturbances are the most important factor in the formation of deposits and play an exclusively creative role, forming oil deposits of a tectonically shielded type.

Keywords: trap, deposit, oil, gas, Turkmenistan, Turkmen sector, Caspian Sea, Caucasus, Absheron, oil and gas basin

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

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

For citation: Serikova U.S., Allanazarova M.A., Nyurenberg E.S. Conditions for the formation of traps and oil and gas deposits in Western Turkmenistan. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(3):47—58. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-47-58>

Manuscript received 10 February 2022

Accepted 28 September 2022

Published 17 October 2022

* Corresponding author

Введение

Основная суть традиционной концепции разведки залежей нефти и газа в Западной Туркмении заключалась в поисках брахиантиклинальных ловушек, расчлененных сбросами на блоки, т. е. антиклиналей, конформных со структурами плиоцена, где выявлены скопления углеводородов (УВ) (рис. 1, 2).

На решение этой задачи были нацелены сейсморазведка и поисковое бурение. В исследуемом регионе широко распространены разновидности структурных и стратиграфических ловушек. Среди них ловушки — брахиантиклинальные, тектонически экранированные, обусловленные стратиграфическим выклиниванием, изолированные трансгрессивными глинами, конусами выноса

дна бассейна, в палеодельтах, в каналах и карбонатных постройках и др. Образование структурных ловушек связано с Кавказской компрессией в позднем плиоцене, и эти ловушки часто ассоциируются с грязевыми диапирами.

На большей части Южно-Каспийского бассейна в пределах Западной Туркмении среднеплиоцен-четвертичный слабодислоцированный структурный этаж (углы падения пород на крыльях брахиантиклиналей 1—2°) подстилается не слабдеформированными автохтонными породами, как предполагалось ранее, а аллохтонным разрезом юры — низов нижнего плиоцена [2].

Аллохтонный структурный этаж, в свою очередь, сбросами и сдвигами расчленен на блоки и подстилается мезозойско-нижнекайнозойским разрезом



Рис. 1. Схема распространения локальных складок в Южно-Каспийском бассейне
Fig. 1. Diagram of the distribution of local folds in the South Caspian basin

автохтонного залегания (рис 3). В целом в Южно-Каспийском бассейне, в том числе в Туркмении, широко распространены тектонически экранированные ловушки нефти и газа (рис. 4). Дизъюнктивные нарушения, экранирующие в определенных условиях скопления нефти и газа, формируют тектонически экранированные залежи вдоль сбросов или взбросов, осложняющих строение антиклиналей. В зависимости от пространственного положения и ориентировки разрывных нарушений подобные залежи могут находиться в различных частях структуры: на своде, крыльях или периклиналях. Блоковые залежи образуются в сильнонарушенных структурах, где амплитуда разрыва превышает мощность продуктивных пластов [4].

Результаты исследований

Результаты исследований свидетельствуют о том, что дизъюнктивные нарушения оказывают различное влияние на формирование и пространственное распределение залежей УВ. В одних случаях они выполняют преимущественно экранирующую роль, а в других являются проводниками мигрирующих флюидов. Разрывы, развитые в данном регионе, имеют различную природу (сбросовую, взбросовую), и геологическое развитие их не может рассматриваться как единое целое. Условия развития этих разрывов дают возможность сделать выводы о том, что в формировании и разрушении различных залежей, наблюдающихся

в регионе, эти разрывы по механизму своего образования являются вторичными. Определенное значение для оценки этих разрывов в отношении формирования или же расформирования залежей имеет литологический состав контактирующих по нему пород. Основную роль здесь играют преимущественно глинистые разделы, материал которых заполняет трещины, препятствуя разрушению залежей УВ в отдельных свитах КТ (комплекс осадочных тел). Если в результате тектонического нарушения нефтегазонасыщенный пласт приходит в контакт с проницаемыми породами, то создаются благоприятные условия для переформирования залежей УВ и их разрушения; если этот пласт приходит в контакт с непроницаемыми породами, то указанная часть залежи в нем сохранится [3].

Таким образом, разрывные нарушения являются важнейшим фактором формирования залежей и играют исключительно созидательную роль, формируя залежи нефти тектонически-экранированного типа. Изучение влияния тектонических разрывов на форму и размеры выявленных в данном регионе залежей УВ показало, что тектонические разрывы обуславливают форму залежей нефти и газа и оказывают весьма существенное влияние на их размеры.

Во всем Южно-Каспийском бассейне нет ни одного месторождения (за исключением Шахдениз — 1875 м, который размещен прямо на Шахово-Азизбековском глубинном разломе), где кровля

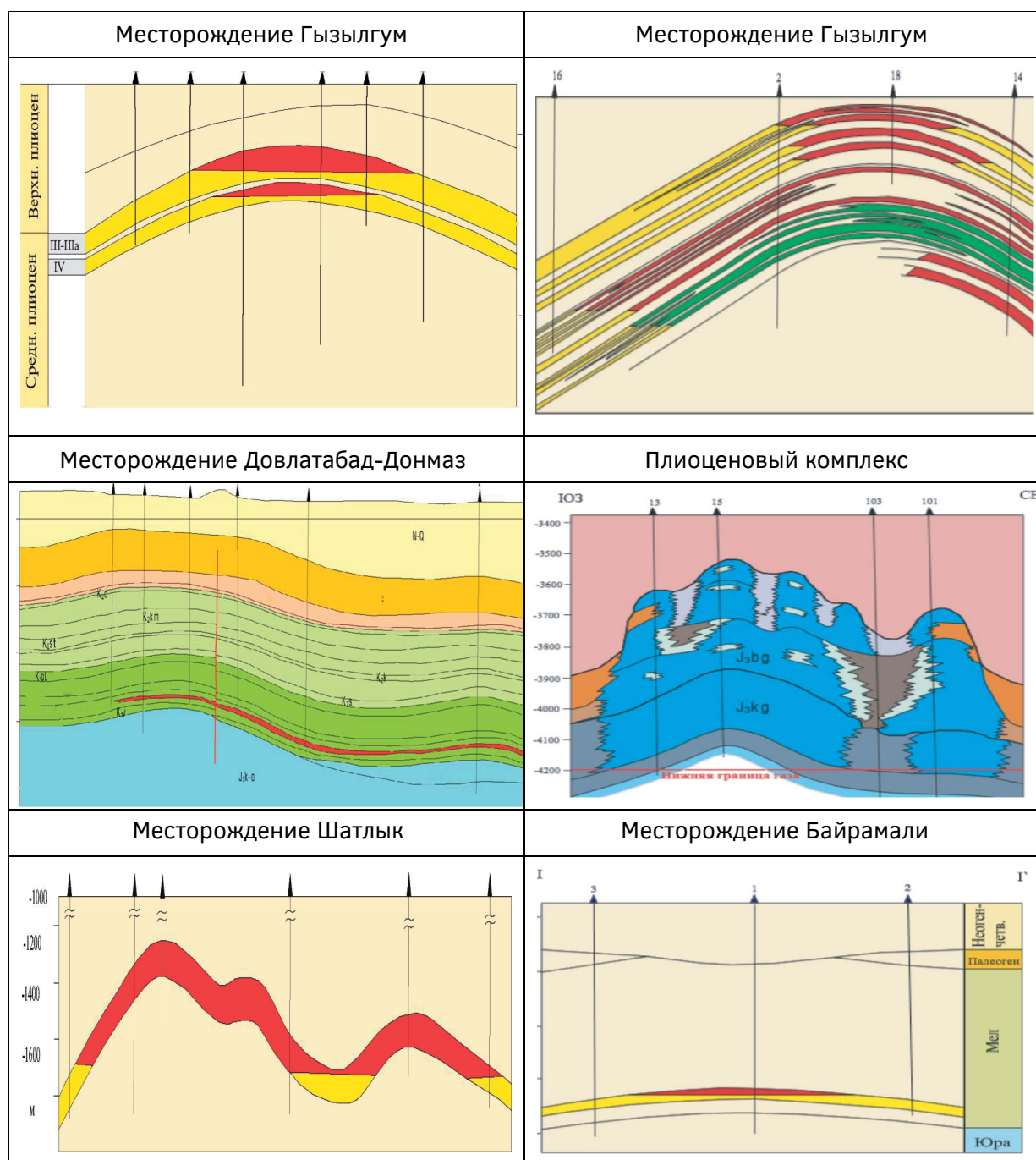


Рис. 2. Примеры выявленных месторождений нефти и газа на территории Туркменистана
Fig. 2. Examples of identified oil and gas fields on the territory of Turkmenistan

среднеплиоценовых отложений (продуктивная красноцветная толща-ПТ-КТ) залегала бы на глубинах более 1700—1750 [1]. Учитывая то, что в зоне шельфа Туркменистана кровля ПТ (КТ) залегает на значительной глубине (на Огурчинском она залегает на глубине 3000 м, на Западно-Эрдеклинской — 2800 м, на Ферсмана — 3800 м),

«выход» сингенетических вод из ловушек КТ сильно затруднен и попадание туда УВ очень затруднено. В этом случае месторождения всегда формируются в обстановке гидродинамических минимумов, которым всегда соответствуют геотемпературные аномалии, низкие значения геотемпературных градиентов, гидрохимические аномалии и пр.

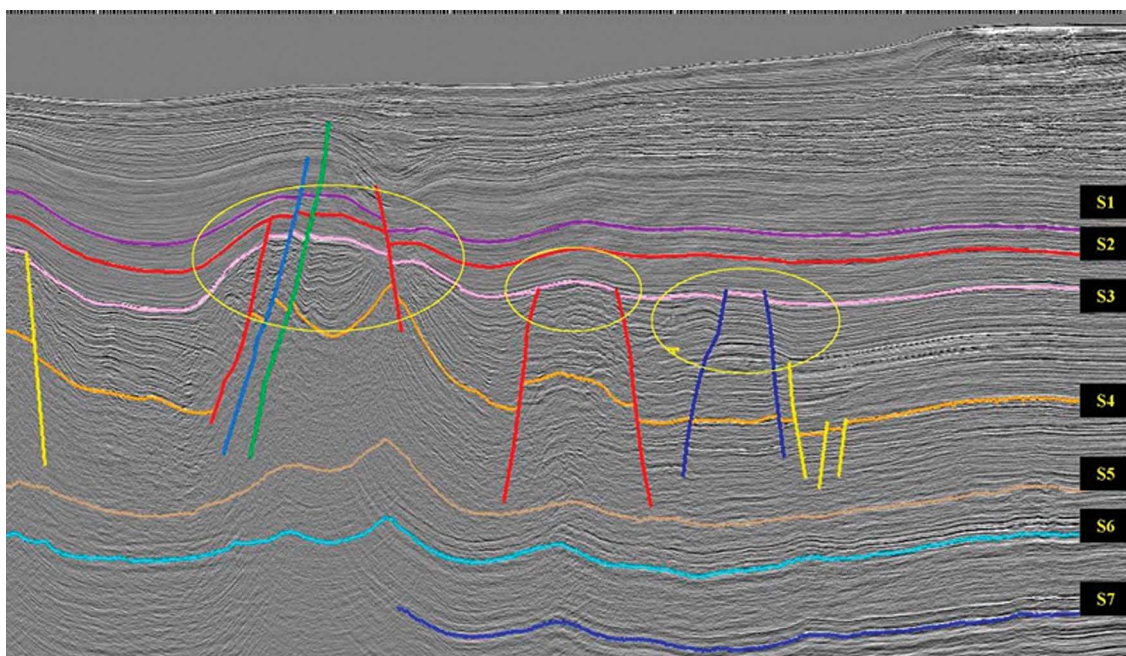


Рис. 3. Разломные структурные поднятия с амплитудными аномалиями: профиль 98-30-87
Fig. 3. Fault structural uplifts with amplitude anomalies: profile 98-30-87

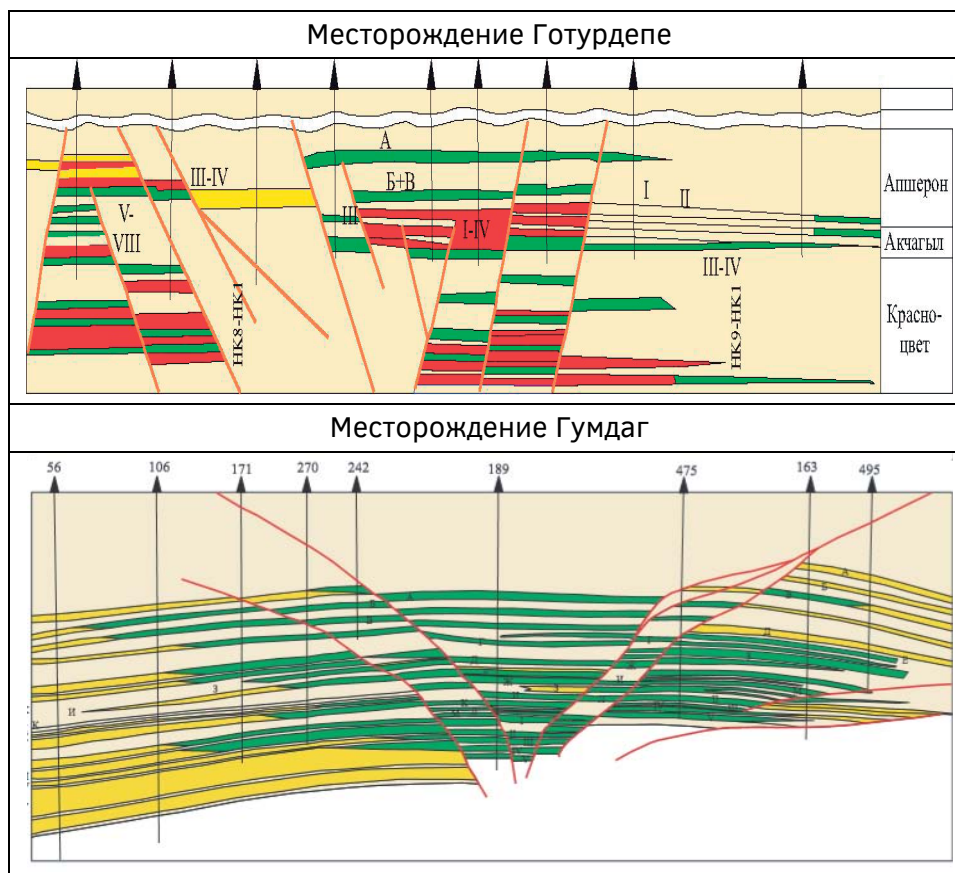


Рис. 4. Примеры тектонически экранированных залежей нефти и газа Туркменистана
Fig. 4. Examples of tectonically shielded oil and gas deposits of Turkmenistan

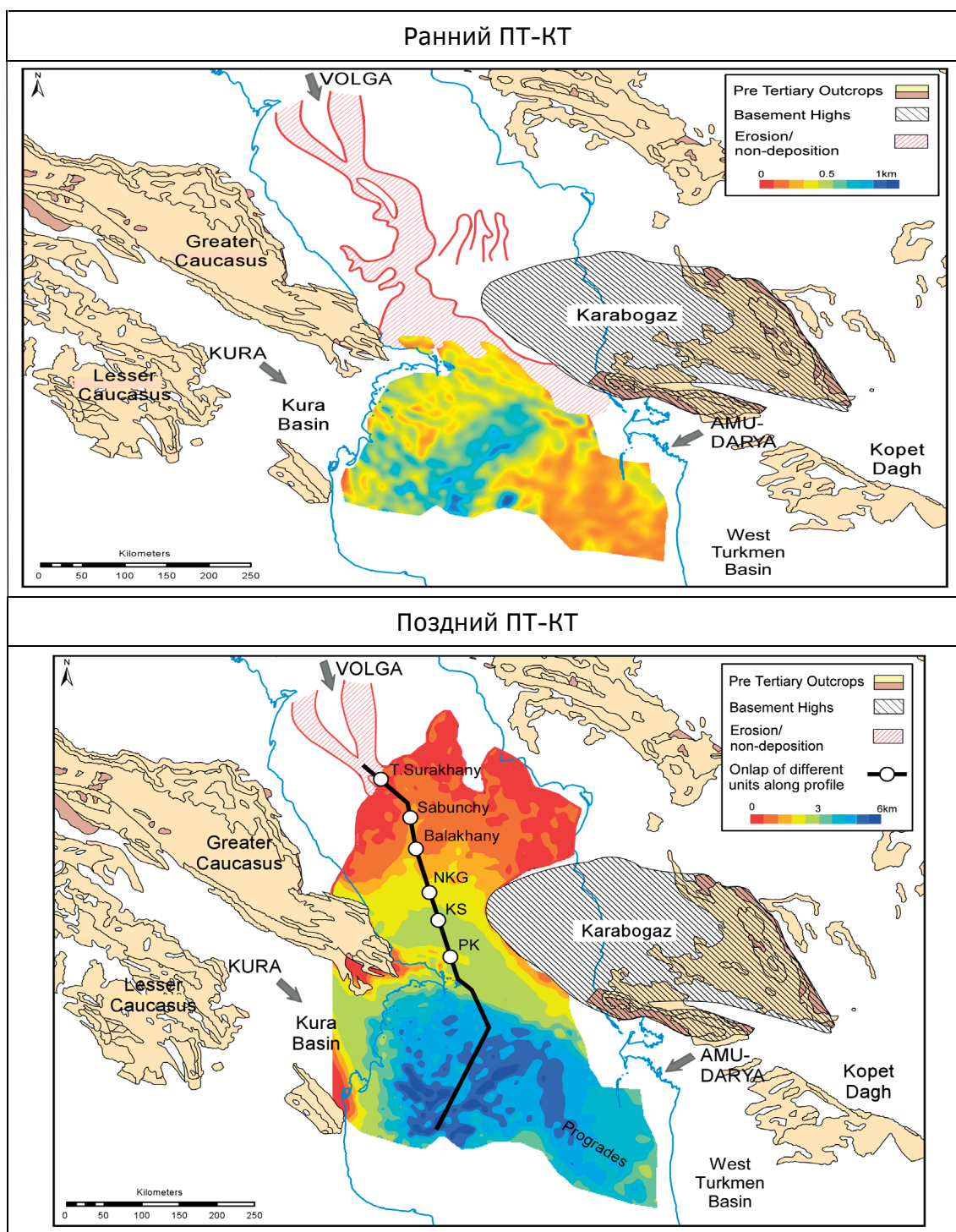


Рис. 5. Совмещенные палеогеографические схемы и карты толщин ПТ-КТ. На нижнем рисунке — неуплотненная мощность отложений достигает 5—6 км в центре бассейна. Сплошная линия обозначает положение отдельных свит, показывающих наложение отложений на региональное несогласие, связанное с падением базового уровня

Fig. 5. Combined paleogeographic schemes and maps of PT-KT thicknesses. In the lower figure, the unconsolidated sediment thickness reaches 5—6 km in the center of the basin. The solid line shows the position of individual formations showing the deposition of sediments on the regional disagreement associated with the fall of the base level

Большая надежда на площади, расположенные на дизъюнктивах и поблизости других путей разгрузки. Основным положением этого подхода является признание того факта, что доминирующей формой движения природных флюидов является их пульсационно-инъекционная субвертикальная миграция по плоскостям проводящих дизъюнктивов, зонам повышенной трещиноватости, эруптивам грязевых вулканов и т. д. [15, 19, 29].

Наряду с вышеизложенным для определения роли дизъюнктивов в формировании, размещении и разрушении залежей нефти и газа необходимо изучить генезис этих нарушений и механизм тектогенеза, обуславливающие их различие в продуктивной толще и подстилающих ее отложениях Южно-Каспийской мегавпадины. Процессы возникновения и развития дизъюнктивов определяются, регулируются и контролируются рядом факторов и механизмов тектогенеза, отдельные

из которых в тех или иных конкретных ситуациях приобретают доминирующий характер. Образование конкретных разрывных нарушений — функция нескольких факторов, главными из которых являются характер сочетания в разрезе отдельного района компетентных и некомпетентных толщ, преобладающий в ходе его геологической истории знак тектонических движений, доминирующее направление приложения уплотняющей нагрузки и орогенно-стрессовых эффектов.

Огромным потенциалом пользуются зоны распространения палеodelьты. Южный Каспий подвергся воздействию четырех фациальных ассоциаций, относящихся к палеodelьтам, от аллювиальных песчаников разветвленных рек и конгломератов до алевролитов и аргиллитов фронтальной части дельты. Фациальные ассоциации предполагают наличие разветвленной дельты с доминированием реки, и они организованы в архитектурную

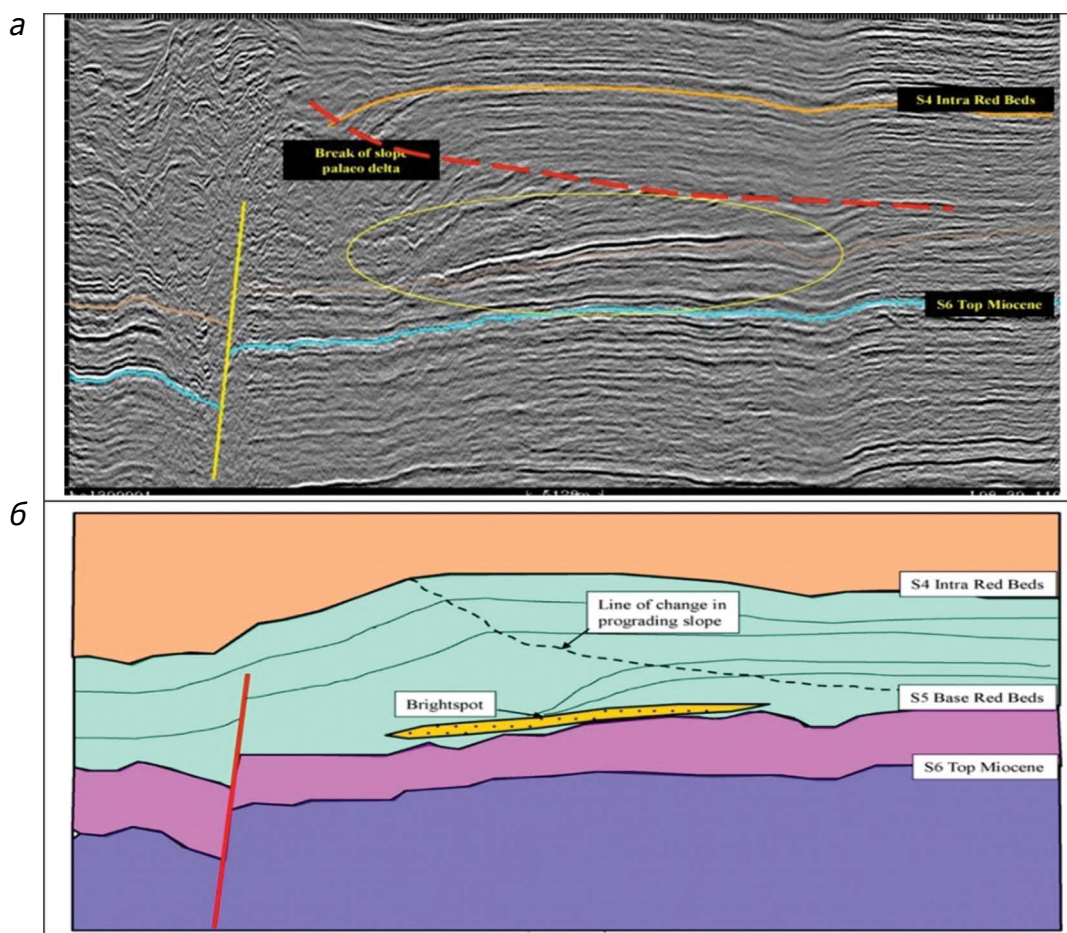


Рис. 6. Сейсмограмма (а) и схема (б) амплитудной аномалии у подошвы палеodelьты с обращенным вниз по склону концом конуса

Fig. 6. Seismogram (a) and diagram (b) of the amplitude anomaly at the sole of the paleodelta with the end of the cone facing downhill

систему, определяемую изменением базиса эрозии, в которой паракомплексы, группы паракомплексов и границы комплексов являются основными элементами.

Фациальные ассоциации и стратиграфическая архитектура обобщены в плане четырех идеализированных моделей коллекторов. Это речная, дельтовая равнина, проксимальная дельта и фронтальная часть дистальной дельты. Все четыре ассоциации представлены на сейсмических материалах в Южно-Каспийском бассейне.

В пределах Туркменского сектора Южно-Каспийского бассейна ловушки связаны с относительными

изменениями уровня моря, вызвавшими различные седиментационные формы, и палеосистемы связаны Палео Аму-Дарьей (рис. 5).

Геологические объекты, отмечаемые на сейсмических профилях, такие как конусы выноса дна бассейна, стратиграфические выклинивания, холмистость отложений, русловые пески, являются показателями палеodelьтовой системы [18]. На рисунке 6а приведен пример конуса выноса на дне бассейна ниже подошвы наступающей палеodelьты, а на рисунке 6б изображена схема конуса выноса с выделенными основными признаками.

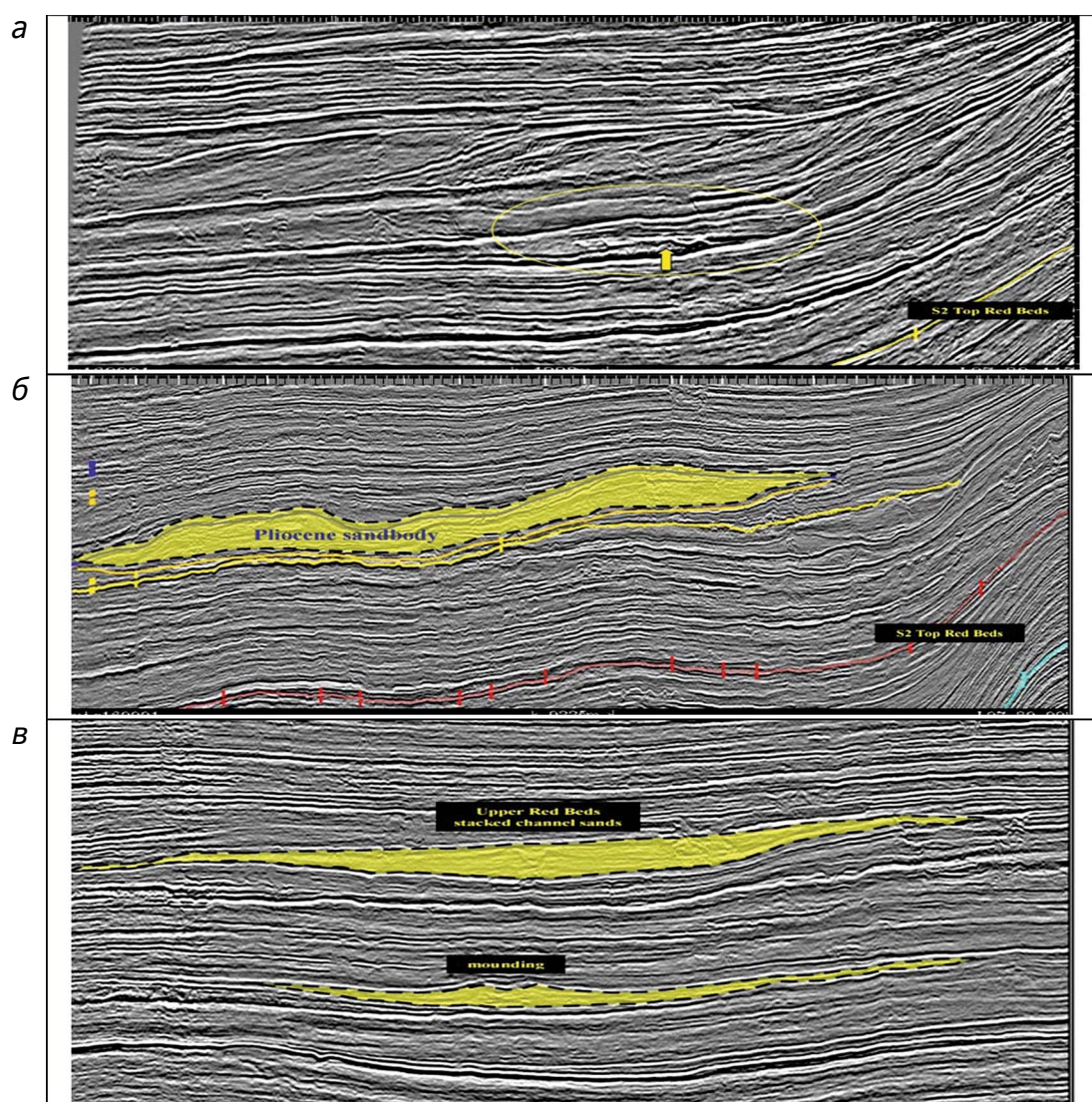


Рис. 7. Горизонтальная площадка (а) и песчаное тело (б) в плиоцене в проградирующем паракомплексе; в — сгруппированные каналы и холмистость в верхах красной толщ западных крыльев структуры Огурджи

Fig. 7. A horizontal platform (a) and a sandy body (б) in the Pliocene in a progressing paracomplex; в — grouped channels and hilly terrain at the tops of the red-colored strata the western wings of the Ogurji structure

На рисунке 7 показан пример горизонтальной площадки в пределах наступающего паракомплекса. На рисунке 7а приведен пример песчаного тела / обломочного потока, отложенных со склона фронтальной части дельты. На рисунке 7б показан пример сгруппированных русел и холмистость в разрезе верхних красноцветов из западной части структуры Огурджи.

В качестве нефтегазопроискового объекта можно отметить ловушки, связанные с рифовыми постройками (рис. 7) [17].

Заключение

Таким образом, выявлено, что в Южно-Каспийской мегавпадине разрывные нарушения являются важнейшим фактором формирования залежей и играют исключительно созидательную роль, формируя залежи нефти тектонически-экранированного типа. Изучение влияния тектонических разрывов на форму и размеры выявленных в данном регионе залежей УВ показало, что тектонические разрывы обуславливают форму залежей нефти и газа и оказывали весьма существенное влияние на их размеры.

Важную роль дизъюнктивы играют как фактор, обеспечивающий гидродинамические условия формирования скоплений нефти и газа:

- формирование залежей УВ подлежит осуществлению только (преимущественно) в зонах (ареалах, участках, очагах) развития достаточно активного гидродинамического режима — дренажа природных резервуаров, а в гидравлически замкнутом геологическом пространстве аккумуляция нефти и газа существенно лимитирована.

- в любой тектоноструктурной, стратиграфической, литофациальной обстановке геологические тела приобретают способность природных резервуаров (ловушек) УВ исключительно при условии реализации их гидродинамического дренажа.

Наряду вышеизложенным для определения роли дизъюнктив в формировании, размещении и разрушении залежей нефти и газа необходимо изучить генезис этих нарушений и механизм тектогенеза обуславливающих их различие в продуктивной толще и подстилающих ее отложениях Южно-Каспийской мегавпадины. Процессы возникновения и развития дизъюнктивов, определяются, регулируются и контролируются рядом факторов и механизмов тектогенеза, отдельные из которых в тех или иных конкретных ситуациях приобретают доминирующий характер. Образование конкретных разрывных нарушений — функция нескольких факторов, главными из которых являются характер сочетания в разрезе отдельного района компетентных и некомпетентных толщ, преобладающий в ходе его геологической истории тектонических движений, доминирующее направление приложения уплотняющей нагрузки и орогенно-стрессовых эффектов.

Огромным потенциалом пользуются зоны распространения палеodelьт. Южный Каспий подвергся воздействию четырех фациальных ассоциаций, относящихся к палеodelьтам, от аллювиальных песчаников разветвленных рек и конгломератов до алевролитов и аргиллитов фронтальной части дельты. Фациальные ассоциации предполагают наличие разветвленной дельты с доминированием реки, и они организованы в архитектурную систему, определяемую изменением базиса эрозии, в которой паракомплексы, группы паракомплексов и границы комплексов являются основными элементами.

Изученные углеводородные системы Туркменского шельфа Каспийского моря заключены в брахиантиклиналях, тектонически экранированных ловушках, которые обусловлены стратиграфическим выклиниванием, изолированные трансгрессивными глинами, конусами выноса дна бассейна, в палеodelьтах, в каналах и карбонатных постройках и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ализаде А.А., Салаев С.Г., Алиев А.И. Научная оценка перспектив нефтегазоносности Азербайджана и Южного Каспия и направление поисково-разведочных работ. Баку: Элм, 1985.
2. Аширмамедов М. Научные прогнозы нефтегазовых перспектив Западно-Туркменской впадины и прилегающих территорий: дисс. ... д-ра геол.-мин. наук в форме научного отчета. Институт сейсмологии Академии наук Туркменистана, 1996.
3. Бабаев Р. Р., Салаев Н.С. Роль тектонических разрывов в формировании, сохранении и разрушении залежей нефти и газа продуктивной толщи западного борта Южно-Каспийской впадины // Проблемы нефтегазоносности Кавказа: сб. науч. тр. — М.: Недра, 1988. С. 87–92.
4. Багир-заде Ф.М., Нариманов А.А. Геолого-геохимические особенности месторождений Каспийского моря. М.: Недра, 1988.

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

5. Бакиров А.А., Бакиров Э.А., Мелик-Пашаев В.С., Мстиславская Л.П., Керимов В.Ю., Юдин Г.Т. Теоретические основы и методы поисков и разведки скоплений нефти и газа. М.: Высшая школа, 1987.
6. Буряковский Л.А. Закономерности размещения нефтяных и газовых залежей в пределах Апшеронского архипелага // Советская геология. 1973. № 10. С. 55—67.
7. Гулиев И.С., Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Бондарев А.В. Оценка генерационного потенциала сланцевых низкопроницаемых толщ (майкопская серия Кавказа) // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКР. 2018. № 1. С. 4—20.
8. Гулиев И.С., Федоров Д.Л., Кулаков С.И. Нефтегазоносность Каспийского региона. Баку: Nafta-Press, 2009.
9. Глумов И.Ф., Маловицкий Я.П. и др. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. М.: Недра, 2004.
10. Керимов В.Ю. Поиски и разведка морских месторождений нефти и газа. М.: Недра, 1991.
11. Керимов В.Ю., Лавренова Е.А., Круглякова М.В., Горбунов А.А. Перспективы нефтегазоносности п-ова Крым и Западного побережья Азовского моря // Нефтяное хозяйство. 2014. № 9. С. 66—70.
12. Керимов В.Ю., Рачинский М.З. Геофлюидодинамика нефтегазоносности подвижных поясов. М.: Недра, 2011.
13. Керимов В.Ю., Рачинский М.З. Геофлюидодинамическая концепция аккумуляции углеводородов в природных резервуарах // Доклады Академии наук. 2006. Т. 471. № 2. С. 187—190.
14. Керимов В.Ю., Рачинский М.З., Карнаухов С.М., Мустаев Р.Н. Геотемпературное поле Южно-Каспийского бассейна // Отечественная геология. 2012. № 3. С. 18—24.
15. Керимов В.Ю., Рачинский М.З., Шилов Г.Я., Мустаев Р.Н. Геологоразведочные работы в Туркменской акватории Южного Каспия — неудачи, перспективы и задачи // Нефть, газ и бизнес. 2011. № 11. С. 17—24.
16. Guliyev I.S., Kerimov V.Yu., Osipov A.V. Hydrocarbon potential of great depths // Neft' gaz i biznes. 2011. No 5. P. 9—16.
17. Guliev S., Mustaev R.N., Kerimov V.Yu., Yudin M.N. Degassing of the earth: Scale and implications // Gornyi Zhurnal. 2018. No. 11. P. 38—40.
18. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Osipov A.V., Rachinsky M.Z. Groundwater dynamics forecasting criteria of oil and gas occurrences in alpine mobile belt basins // Doklady Earth Sciences. 2017. T. 476. No. 1. P. 1066—1068.
19. Kerimov V.Yu., Rachinsky M.Z. Geofluid dynamic concept of hydrocarbon accumulation in natural reservoirs // Doklady Earth Sciences. 2016. T. 471. No. 1. P. 1123—1125.
20. Kerimov V., Rachinsky M., Mustaev R., Serikova U. Geothermal conditions of hydrocarbon formation in the South Caspian basin // Iranian Journal of Earth Sciences, 2018. T. 10. No. 1. P. 78—89.
21. Kerimov V.Yu., Rachinsky M., Mustaev R.N., Serikova U. Geothermal conditions of Hydrocarbon formation in the South Caspian Basin // Iranian Journal of Earth Sciences. 2018. T. 10. No. 1. P. 78—89.
22. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Yandarbiev N.Sh., Movsumzade E.M. Environment for the formation of shale oil and gas accumulations in low permeability sequences of the Maikop series // Oriental Journal of Chemistry. 2017. T. 33. No. 2. P. 879—892.
23. Kerimov V.Yu., Osipov A.V., Mustaev R.N., Monakova A.S. Modeling of petroleum systems in regions with complex geological structure. 16th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development, GEOMODEL 2014, 201
24. Kerimov V.Yu., Shilov G.Ya., Mustayev R.N., Dmitrievskiy S.S. Thermobaric conditions of hydrocarbons accumulations formation in the low-permeability oil reservoirs of khadam suite of the Pre-Caucasus // Neftyanoe khozyaystvo — Oil Industry. 2016. No. 2. P. 8—11.
25. Kerimov V.Yu., Serikova U.S., Mustayev R.N., Guliyev I.S. Deep oil-and-gas content of South Caspian Basin// Neftyanoe khozyaystvo — Oil Industry. 2014. No. 5. P. 50—54.
26. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Dmitrievsky S.S., Zaitsev V.A. Evaluation of secondary filtration parameters of low-permeability shale strata of the Maikop series of Central and Eastern Ciscaucasia by the results of geomechanics modeling // Neftyanoe Khozyaystvo — Oil Industry. 2016. No. 9. P. 18—21.
27. Lapidus A.L., Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Salikhova I.M., Zhagfarov F.G. Natural Bitumens: Physicochemical Properties and Production Technologies // Solid Fuel Chemistry. 2018. T. 52. No. 6. P. 344—355.
28. Lapidus A.L., Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Movsumzade E.M., Zakharchenko M.V. Caucasus Maykopian kerogenous shale sequences generative potential // Oil Shale, 2018. T. 35. No. 2. P. 113—127.
29. Rachinsky M.Z., Kerimov V.Yu. Fluid Dynamics of Oil and Gas Reservoirs. 2015. P. 1—617.
30. Rachinsky M.Z., Chilingar G.V. The South-Caspian Basin's Mineral Resource Base // Energy Sources Journal. Part A. 2008. V. 30, issue 1. P. 35—51.

REFERENCES

1. Alizade A.A., Salaev S.G., Aliyev A.I. Scientific assessment of the prospects of oil and gas potential of Azerbaijan and the Southern Caspian Sea and the direction of prospecting and exploration. Baku: Elm, 1985.
2. Ashirmamedov M. Scientific forecasts of oil and gas prospects of the West Turkmen Depression and adjacent territories: diss. ... dr. geol.-min. of sciences in the form of a scientific report. Institute of Seismology of the Academy of Sciences of Turkmenistan, 1996.

3. Babaev R. R., Salaev N. S. The role of tectonic ruptures in the formation, preservation and destruction of oil and gas deposits in the productive strata of the western side of the South Caspian depression // Problems of oil and gas potential of the Caucasus: collection of scientific tr. — M.: Nedra, 1988. pp. 87—92.
4. Bagir-zade F.M., Narimanov A.A. Geological and geochemical features of deposits of the Caspian Sea. Moscow: Nedra, 1988.
5. Bakirov A.A., Bakirov E.A., Melik-Pashaev V.S., Mstislavskaya L.P., Kerimov V.Yu., Yudin G.T. Theoretical foundations and methods of prospecting and exploration of oil and gas accumulations. Moscow: Higher School, 1987.
6. Buryakovskiy L.A. Regularities of the placement of oil and gas deposits within the Absheron archipelago // Sovetskaya geologiya. 1973. No. 10. pp. 55—67.
7. Guliyev I.S., Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Bondarev A.V. Assessment of the generation potential of low-permeable shale strata (Maikop series of the Caucasus) // Scientific works of NIPI Neftegaz SOCAR. 2018. No. 1. pp. 4—20.
8. Guliyev I.S., Fedorov D.L., Kulakov S.I. Oil and gas potential of the Caspian region. Baku: Nafta-Press, 2009.
9. Glumov I.F., Malovitsky Ya.P., etc. Regional geology and oil and gas potential of the Caspian Sea. Moscow: Nedra, 2004.
10. Kerimov V.Yu. Search and exploration of offshore oil and gas fields. Moscow: Nedra, 1991.
11. Kerimov V.Yu., Lavrenova E.A., Kruglyakova M.V., Gorbunov A.A. Prospects of oil and gas potential of the peninsula of Crimea and the West coast of the Sea of Azov // Oil economy. 2014. No. 9. pp. 66—70.
12. Kerimov V.Yu., Rachinsky M.Z. Geofluidodynamics of oil and gas potential of mobile belts. Moscow: Nedra, 2011.
13. Kerimov V.Yu., Rachinsky M.Z. Geofluidodynamic concept of hydrocarbon accumulation in natural reservoirs // Reports of the Academy of Sciences. 2006. vol. 471. No. 2. pp. 187—190.
14. Kerimov V.Yu., Rachinsky M.Z., Karnaukhov S.M., Mustaev R.N. Geotemperature field of the South Caspian basin // Domestic geology. 2012. No. 3. pp. 18—24.
15. Kerimov V.Yu., Rachinsky M.Z., Shilov G.Ya., Mustaev R.N. Geological exploration in the Turkmen water area of the Southern Caspian — failures, prospects and tasks // Oil, gas and business. 2011. No. 11. pp. 17—24.
16. Guliyev I.S., Kerimov V.Yu., Osipov A.V. Hydrocarbon potential of great depths // Oil, gas and business. 2011. No. 5. pp. 9—16.
17. Guliyev S., Mustaev R.N., Kerimov V.Yu., Yudin M.N. Degassing of the earth: scales and consequences // Mining Journal. 2018. No. 11. PP. 38—40.
18. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Osipov A.V., Rachinsky M.Z. Criteria for predicting the dynamics of oil and gas occurrence in the basins of the alpine mobile belt // Reports Of Earth Sciences. 2017. No. 476. No. 1. pp. 1066—1068.
19. Kerimov V.Yu., Rachinsky M.Z. Geofluidodynamic concept of hydrocarbon accumulation in natural reservoirs // Reports of Earth Sciences. 2016. Vol. 471. No. 1. pp. 1123—1125.
20. Kerimov V., Rachinsky M., Mustaev R., Serikova U. Geothermal conditions of hydrocarbon formation in the South Caspian basin // Iranian Journal of Earth Sciences, 2018. Vol. 10. No. 1. pp. 78—89.
21. Kerimov V.Yu., Rachinsky M., Mustaev R.N., Serikova U. Geothermal conditions of formation Hydrocarbons in the South Caspian basin // Iranian Journal of Earth Sciences. 2018. Vol. 10. No. 1. pp. 78—89.
22. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Yandarbiev N.Sh., Movsumzade E.M. Medium for the formation of shale oil and gas accumulations in low-permeable sediments of the Maikop series // Vostochny Khimicheskiy zhurnal. 2017. No. 33. No. 2. pp. 879—892.
23. Kerimov V.Yu., Osipov A.V., Mustaev R.N., Monakova A.S. Modeling of oil systems in regions with complex geological structure. 16th Scientific and Practical Conference on geological exploration and development of oil and gas fields, GEOMODEL 2014, 2014
24. Kerimov V.Yu., Shilov G.Ya., Mustaev R.N., Dmitrievsky S.S. Thermobaric conditions for the formation of hydrocarbon accumulations in low-permeable oil reservoirs of the Khadum formation of the Pre-Caucasus. Oil economy // Oil industry. 2016. No. 2. pp. 8—11.
25. Kerimov V.Yu., Serikova U.S., Mustaev R.N., Guliyev I.S. Deep oil and gas potential of the South Caspian basin // Oil economy — Oil industry. 2014. No. 5. pp. 50—54.
26. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Dmitrievsky S.S., Zaitsev V.A. Evaluation of the parameters of secondary filtration of low-permeable shale formations of the Maikop series of the Central and Eastern Precaucasia according to the results of geomechanical modeling // Oil economy — Oil industry. 2016. No. 9. pp. 18—21.
27. Lapidus A.L., Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Salikhova I.M., Zhagfarov F.G. Natural bitumen: physico-chemical properties and production technologies // Chemistry of solid fuels. 2018. vol. 52. No. 6. pp. 344—355.
28. Lapidus A.L., Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Movsumzade E.M., Zakharchenko M.V. Generative potential of the Caucasian-Maikop kerogenic shales // Combustible shales, 2018. Vol. 35. No. 2. pp. 113—127.
29. Rachinsky M.Z., Kerimov V.Yu. Hydrodynamics of oil and gas reservoirs. 2015. pp. 1—617.
30. Rachinsky M.Z., Chilingar G.V. Mineral Resource Base Of The South Caspian Basin // Journal of Energy Sources. Part A. 2008. Vol. 30, issue 1. pp. 35—51.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Серикова У.С. — разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

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

Нюренберг Е.С. — присоединилась к подготовке текста статьи, выполнила перевод на английский язык и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Ulyana S. Serikova — developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

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

Ekaterina S. Nyrenberg — joined the preparation of the text of the article, translated into English and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Серикова Ульяна Сергеевна — кандидат технических наук, доцент, 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: lubava45@gmail.com

тел.: +7 (965) 429-39-79

SPIN-код: 9363-4064

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5981-5202>

Ulyana S. Serikova — Cand. of Sci. (Tech.), Assoc. Prof., Lecturer at the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: lubava45@gmail.com

tel.: +7 (965) 429-39-79

SPIN-code: 9363-4064

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5981-5202>

Алланазарова Мехрибан Айдыновна* — аспирант 1-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>

Mehriban A. Allanazarova* — 1st year post-graduate researcher of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of the 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>

Нюренберг Екатерина Сергеевна — проектировщик 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: nyurenberges@mgri.ru

тел.: +7 (926) 899-25-01

SPIN-код: 5430-8190

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9532-6489>

Ekaterina S. Nyrenberg — Design Engineer of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: nyurenberges@mgri.ru

tel.: +7 (926) 899-25-01

SPIN-code: 5430-8190

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9532-6489>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-59-73>
УДК 624.131.1



МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ТЕРРИГЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ЛЕССОВЫХ И ГЛИНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОЙ МОНГОЛИИ

Т.Г. РЯЩЕНКО

ФГБУН «Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук»
128, ул. Лермонтова, г. Иркутск 664033, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассматриваются результаты изучения минерального состава терригенных компонентов методом количественного иммерсионного анализа для лессовых и глинистых отложений Западной Монголии, полученные в рамках геологических исследований при проведении работ по сейсмическому микрорайонированию территорий некоторых городов.

Цель. Определение и анализ изменений минерального состава терригенных компонентов лессовых четвертичных аллювиальных, эоловых, делювиально-эоловых и делювиально-пролювиальных комплексов, а также неоген-нижнечетвертичных озерно-аллювиальных и мел-палеогеновых озерных «кирпичных» глин.

Материалы и методы. Информационный банк представлен количественными данными по содержанию легких и тяжелых минералов (фракция 0,01—0,25 мм) различных геолого-генетических комплексов отложений, образцы которых были отобраны из обнажений мощностью 6—8 м и опорных скважин глубиной 20—30 м (всего 72 образца). При характеристике состава легкой и тяжелой фракций установлены минеральные ассоциации, рассчитаны коэффициенты зрелости (Kz) и устойчивости (Ky). Выделены четыре территориальные зоны: северная (территория городов Сухэ-Батор, Мурэн), центральная (Дзунмод), западная (Улясутай) и южная (Даланзадгад). При обработке минералогических данных применялась программа кластерного анализа Q-типа.

Результаты. Установлено, что изменения минеральных ассоциаций изученных объектов связаны с их принадлежностью к выделенным геолого-генетическим комплексам и возможностью участия эоловых процессов. К числу факторов влияния относятся климатические условия в период формирования комплексов, состав пород геологических формаций, распространенных на указанных территориях, и современная климатическая зональность.

Заключение. Наиболее представительные материалы получены для центральной и южной зоны, где минеральный состав терригенных компонентов определялся по образцам опорных скважин, в которых четко наблюдались изменения минерального состава отложений при смене геолого-генетического комплекса. Иммерсионный метод до сих пор не утратил своего значения при изучении осадочных пород, поэтому особый интерес с научной и практической точки зрения представляет впервые полученная информация по новому объекту — территории Западной Монголии.

Ключевые слова: минеральный состав, терригенные компоненты, лессовые и глинистые отложения, иммерсионный анализ, геолого-генетический комплекс, эоловые процессы, коэффициенты зрелости и устойчивости

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: В работе задействовано оборудование ЦКП «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН в рамках гранта № 075-15-2021-682.

Для цитирования: Рященко Т.Г. Минеральный состав терригенных компонентов лессовых и глинистых отложений Западной Монголии. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(3):59—73. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-59-73>

Статья поступила в редакцию 26.03.2021
Принята к публикации 11.10.2022
Опубликована 17.10.2022

MINERAL COMPOSITION OF TERRIGENOUS COMPONENTS IN LOESS AND CLAY DEPOSITS OF WESTERN MONGOLIA

TAMARA G. RYASHCHENKO

*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
128, Lermontov str., Irkutsk 664033, Russia*

ABSTRACT

Introduction. The paper considers the results of a study associated with the mineral composition of terrigenous components in loess and clay deposits of Western Mongolia. The study was performed by the method of quantitative immersion analysis using samples obtained in the framework of geological studies during the seismic microzoning of certain cities.

Aim. Determination and analysis of variations in the mineral composition of terrigenous components of loess quaternary alluvial, eolian, diluvial-eolian and diluvial-proluvial complexes, as well as Neogene-lower Quaternary lake-alluvial and Cretaceous-Paleogene lake “brick” clays.

Materials and methods. The database is represented by quantitative data on the content of light and heavy minerals (0.01—0.25 mm fraction) in various geological and genetic deposit complexes, sampled from outcrops with the thickness of 6–8 m and test wells with the depth of 20–30 m (72 samples in total). During the compositional characterisation of light and heavy fractions, mineral associations were established, as well as maturity (Kz) and stability coefficients (KU) were calculated. Four territorial zones, including northern (territory of Sükhbaatar and Möрөн), central (Zuunmod), western (Uliastai) and southern (Dalanzadgad), were isolated. A Q-type cluster analysis program was applied to process mineralogical data.

Results. Variations in mineral associations of the studied objects were established related both to their belonging to the selected geological and genetic complexes and the possibility of eolian process effects. The factors of influence include climatic conditions during the formation of complexes, the composition of rocks in geological formations abundant in these territories and contemporary climatic zoning.

Conclusion. Representative data were obtained for the central and southern zones, where the mineral composition of terrigenous components was determined using samples from test wells having clearly observed variations in the mineral composition of deposits during the change of a geological and genetic complex. Since the immersion method is still essential for studies of sedimentary rocks, the information on a new object, represented by the territory of West Mongolia, obtained for the first time, appears to be of a particular interest both from scientific and practical points of view.

Keywords: mineral composition, terrigenous components, loess and clay deposits, immersion analysis, geological and genetic complex, eolian processes, maturity and stability coefficients

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

Financial disclosure: The equipment of the Center for Collective Use “Geodynamics and Geochronology” of the Institute of the Earth’s Crust of the SB RAS was used in this work within the framework of the grant No. 075-15-2021-682.

For citation: Ryashchenko T.G. Mineral composition of terrigenous components in loess and clay deposits of Western Mongolia. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(3):59—73. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-59-73>

Manuscript received 26 March 2021

Accepted 11 October 2022

Published 17 October 2022

Введение

При изучении минерального состава лессовых и глинистых отложений в настоящее время применяется преимущественно рентгеновский анализ, когда по валовой пробе определяется содержание всего набора минералов (легких, тяжелых и глинистых) и так называемого рентгеноаморфного вещества [18]. Кроме того, известен метод порошковой дифракции, при котором рентгенограммы идентифицируются с помощью программы поиска фаз (определяется содержание кварца, полевых шпатов и глинистой фракции различного минерального состава), при этом соотношения последних носят приближенный характер ($\pm 5\%$) [22].

В то же время к числу традиционных (классических) методов литологии относится иммерсионный анализ, который позволяет получить количественную информацию о содержании преобладающих, второстепенных и акцессорных минералов легкой и тяжелой фракций. В 1947 г. была опубликована монография В.П. Батурина «Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам», которая явилась основой нового научного направления, связанного с изучением распределения минеральных ассоциаций в различных отложениях [1]. Известны работы 1990-х годов доктора геолого-минералогических наук Н.С. Окновой по разработке литолого-палеогеографических и геодинамических методов прогноза и поисков залежей нефти и газа на северо-востоке Русской платформы [11], относительно недавно опубликована статья А.В. Милаша по акцессорным минералам эйфельских, живетских и нижнефранских отложений юго-востока Воронежской антеклизы [10].

Говоря об утерянном классификационном признаке лессовых пород, В.Г. Шлыков и П.В. Трапезников, конечно, имели в виду их минеральный состав, в том числе терригенные компоненты легкой и тяжелой фракций, рассматривая их в качестве корреляционно-генетического критерия при изучении лессовых толщ различных территорий [19].

Представленные материалы по Западной Монголии получены в рамках геологических и инженерно-геологических исследований в период проведения работ по сейсмическому микрорайонированию (СМР) аймачных центров (городов) Институтом земной коры СО РАН и Исследовательским Центром по астрономии и геофизике Академии наук Монголии [16, 21] (рис. 1).

Обращаясь к ретроспективной информации, следует напомнить, что на юге Восточной Сибири материалы по минералогии терригенных

компонентов, полученные иммерсионным методом, занимали одно из ведущих мест в комплексных исследованиях лессовых отложений [6, 13—15].

Следует также сказать, что в более ранних геологических и инженерно-геологических работах, выполненных на территории Монгольской Народной Республики [3, 5], отсутствовали какие-либо сведения о минеральном составе терригенных компонентов лессовых и глинистых пород. Например, в сборнике геологических материалов обнаружена статья с описанием лессовидных суглинков, в толще которых был найден зуб мамонта, что позволило эти отложения отнести к верхнему плейстоцену (условия перигляциального режима); сделаны выводы о формировании в условиях жаркого климата красноцветных озерных глин («кирпичные» глины).

Исследования, материалы которых изложены в представляемой статье, проводились в локально-региональном отношении: выделены четыре широтные зоны, для каждой из которых на примере конкретных городских территорий представляется информация о минеральном составе легкой и тяжелой фракций (0,01—0,25 мм) образцов, отобранных из естественных обнажений и опорных скважин.

Цель исследований заключалась в определении и анализе изменений минерального состава терригенных компонентов четвертичных лессовых аллювиальных, эоловых, делювиально-эоловых и делювиально-пролювиальных комплексов, а также неоген-нижнечетвертичных озерно-аллювиальных и мел-палеогеновых озерных «кирпичных» глин.

Объекты и методы

Объектами исследований являются 72 образца нарушенной структуры лессовых отложений и «кирпичных» глин различных геолого-генетических комплексов (ГГК), распространенных в выделенных территориальных зонах: северной, центральной, западной и южной. Эти образцы были отобраны из обнажений мощностью до 6—8 м и опорных скважин глубиной 20—30 м. Термин «геолого-генетический комплекс» объединяет отложения одного генезиса и возраста и включает определенные литологические группы [7].

На территории Западной Монголии лессовые отложения представляют особую группу опесчаненных лессовидных образований, которые относятся к связным пескам (ps^*) и являются продуктом процессов лессового литогенеза; связные



Рис. 1. Схема расположения городов в Западной Монголии, на территории которых проводились работы по сейсмическому микрорайонированию (обозначены красным цветом)

Fig. 1. Scheme of the cities location in Western Mongolia, on the territory of which seismic microzoning was carried out (indicated in red)

пески обладают агрегированностью, высокой карбонатностью, проявляют просадочность и слабую пластичность [8, 23]. Они относятся к делювиально-эоловым ($d-vQ_{3-4}$), эоловым (vQ_{3-4}) и аллювиальным (aQ_{3-4}) комплексам мощностью 3—5 м, а также являются заполнителем крупнообломочных делювиально-пролювиальных четверичных нерасчлененных толщ, образующих древние конусы выноса — это своеобразная «моласса» с облессованным супесчано-песчаным заполнителем мощностью до 8—10 м (dpQ).

Глинистые отложения представлены особой группой «кирпичных» глин (gln), вскрытых при бурении опорных скважин на глубине 7—16 м в центральной и южной зонах, они относятся соответственно

к озерно-аллювиальным ($l-aN-Q_1$ — gln) и озерным (lK_2-Pg — gln) комплексам, мощность 12—15 м.

Для каждого образца иммерсионным методом получены количественные данные о минеральном составе легкой и тяжелой фракции (анализы были выполнены в литологической лаборатории Иркутского геологического управления в процессе совместных исследований) [2, 9, 17]. Предварительно проводится гранулометрический анализ образца по методу Л.Н. Сабанина: отмывается глинистая фаза ($<0,002$ мм), определяется ее содержание; оставшая часть пробы высушивается, и ситовым способом устанавливается содержание различных песчано-пылевых фракций.

В легкой и тяжелой фракциях по содержанию преобладающих минералов устанавливаются минеральные ассоциации, а также рассчитываются коэффициенты зрелости (K_z) и устойчивости (K_U).

Коэффициент зрелости представляет собой отношение содержания устойчивого к выветриванию кварца и неустойчивых полевых шпатов (кв/пш), устойчивости — отношение содержания устойчивых циркона и турмалина к неустойчивым амфиболам и пироксенам ($ц+тур/ам+п$). Повышенные значения этих коэффициентов являются свидетелями химической зрелости отложений.

На базе материалов о минеральном составе терригенных компонентов лессовых и глинистых отложений Западной Монголии (северная, центральная, западная, южная зоны) выполнен своеобразный эксперимент по группированию исследованных образцов с помощью программы кластерного анализа Q-типа [6, 15].

Результаты и их обсуждение

Рассматриваются четыре территориальные зоны: северная (районы городов Сухэ-Батор, Мурэн), центральная (Дзунмод), западная (Улясутай) и южная (Даланзадгад).

Северная, центральная и западная аналогичны Прибайкалью с умеренно гумидным резко континентальным климатом, южная — типичная аридная область Южно-Гобийской полупустынной равнины. Осадки для северной зоны максимальны — 228—315 мм/год, для южной минимальны — 125 мм/год. Для каждой зоны приводятся результаты минералогических исследований, при этом предварительно рассматриваются сведения о геоморфологических особенностях территории, развитых здесь геологических формациях и распространении различных ГГК лессовых и глинистых отложений. При анализе минеральных ассоциаций тяжелых фракций использовалась специальная литература [4, 20].

Северная зона

Сухэ-Батор расположен в межгорной впадине; в пределах города выделяются террасы р. Орхон и слабо расчлененные склоны; распространена нижнепротерозойская интрузивно-метаморфическая формация: гранитогнейсы, метаморфизованные песчаники, алевриты и сланцы.

Широко развиты связные пески (ps^*), которые в виде делювиально-эоловых покровов залегают на пологих склонах и поверхности надпойменных террас Орхона ($d-vQ_{3-4}$) или представляют аллювиальный комплекс (aQ_4). Пески со следами

связности характеризуются присутствием агрегатов, в которых заключен резерв глинистых фракций; в зарубежных публикациях агрегированные просадочные пески называются глинистыми [24].

Материалы по минералогии получены для 12 образцов, выявлены следующие особенности. В легкой фракции содержания кварца и полевых шпатов близки (K_z 0,8—1,2), иногда кварц уступает слабоустойчивому компоненту. В тяжелой фракции установлена преимущественно амфиболовая ассоциация (31—61%), всегда присутствуют эпидот (13—34%) и рудные минералы (13—35%), в качестве второстепенной примеси отмечены сфен и гранат (2,2—5,1%); циркон и турмалин относятся к акцессорным (<1—5%) компонентам; коэффициент устойчивости очень низкий — 0,01—0,08; вторичные минералы (лимонит и лейкоксен) не характерны (<1%). В качестве примера представлены основные минералы легкой и тяжелой фракций (табл. 1).

Полученные материалы по ряду позиций позволяют сделать следующее заключение: постоянное присутствие эпидота и рудных минералов предполагает связь с магматическими породами распространенной здесь геологической формации; преобладание амфиболов указывает на существование постороннего источника — это, вероятнее всего, «минералы-пришельцы», принесенные северо-западным ветром (наблюдается аналогия с лессовыми отложениями Прибайкалья); почти полное исчезновение пироксенов (0,4—1,7%) можно объяснить отсутствием на данной территории трапповой формации, которая, как известно, широко распространена в Нижнем Приангарье, где лессовые покровы на террасах имеют пироксен-амфиболовую минеральную ассоциацию [8]; химическая зрелость связных песков очень низкая, поскольку в тяжелой фракции господствуют слабо устойчивые амфиболы ($K_U < 0,10$), в легкой — слабо устойчивые полевые шпаты по содержанию близки или превышают кварц.

Мурэн расположен в районе Хангайского нагорья. Здесь развиты предгорные шлейфы, древние конусы выноса и низкие террасы р. Дэнгэрн. В пределах городской территории распространены нижне-среднедевонская интрузивная (розоватые крупнозернистые граниты) и пермская эффузивная (базальты, базальтовые туфы, андезиты) геологические формации.

Связные пески представлены аллювиальными (aQ_4 — ps^*), эоловыми (vQ_{3-4} — ps^*) и делювиально-эоловыми ($d-vQ_{3-4}$ — ps^*) комплексами.

Таблица 1. Основные минералы легкой и тяжелой фракций, коэффициенты зрелости (Kz) и устойчивости (КУ) (Сухэ-Батор — выборочные данные)

Table 1. Main minerals of light and heavy fractions, coefficients of maturity (Kz) and stability (KU) (the Sukhebaator — selected data)

Образец — глубина, м / Sample — depth, m	ГГК / GGC	ЛГ / LG	Содержание минералов, % / Mineral content, %						
			Легкая фракция / Light fraction			Тяжелая фракция / Heavy fraction			
			кв / qtz	пш / flds	Kz	ам / am	руд / ore	эп / ep	КУ / KU
74 — 2,5	d-vQ ₃₋₄	ps*	22,7	74,8	0,30	38,6	29,0	21,5	0,05
76 — 1,0	d-vQ ₃₋₄	ps*	50,7	48,7	1,00	44,7	18,6	20,1	0,07
76 — 3,0	d-vQ ₃₋₄	ps*	55,3	43,7	1,2	31,0	20,0	29,2	0,07
85 — 2,0	d-vQ ₃₋₄	ps*	44,5	54,9	0,80	46,2	21,7	23,5	0,03
81 — 1,0	aQ ₄	ps*	50,2	47,9	1,04	40,1	12,9	34,2	0,05

Примечание. ГГК — геолого-генетический комплекс, ЛГ — литологическая группа: ps* — связные пески; кв — кварц, пш — полевые шпаты, ам — амфиболы (роговая обманка + актинолит), руд — рудные минералы (магнетит + ильменит), эп — эпидот.

Note. GGC is geological-genetic complexe, LG is lithological group: ps* is cohesive sands; qtz is quartz, flds is feldspars, am is amphiboles (hornblende + actinolite), ore is ore minerals (magnetite + ilmenite), ep is epidote.

Таблица 2. Основные минералы легкой и тяжелой фракций, коэффициенты зрелости (Kz) и устойчивости (КУ) (Мурэн — выборочные данные)

Table 2. Main minerals of light and heavy fractions, coefficients of maturity (Kz) and stability (KU) (the Muren — selected data)

Образец — глубина, м / Sample— depth, m	ГГК / GGC	ЛГ / LG	Содержание минералов, % / Mineral content,%							Масса тяже- лой фракции. г / Weight of heavy fraction, g
			Легкая фракция / Light fraction			Тяжелая фракция / Heavy fraction				
			кв / qtz	пш / flds	Kz	руд / ore	ам / am	ц / z	КУ / KU	
34 — 1,0	aQ ₄	ps*	46,8	43,6	1,10	57,9	24,0	1,1	0,05	0,0647
36 — 3,0	vQ ₃₋₄	ps*	49,4	45,2	1,10	72,4	9,6	5,5	0,59	-
35 — 1,0	d-vQ ₃₋₄	ps*	44,7	51,0	0,88	54,6	8,6	3,8	0,44	0,0549
35 — 1,5	d-vQ ₃₋₄	ps*	52,4	44,1	1,19	75,6	9,7	1,3	0,13	0,1000
35 — 4,2	d-vQ ₃₋₄	ps*	55,3	43,1	1,28	65,3	9,2	5,9	0,64	0,0249
35 — 6,0	d-vQ ₃₋₄	ps*	49,8	47,8	1,04	50,2	26,9	2,6	0,11	0,1432

Примечание. ГГК — геолого-генетический комплекс, ЛГ — литологическая группа: ps* — связные пески; минералы: кв — кварц, пш — полевые шпаты, руд — рудные минералы (магнетит + ильменит), ам — амфиболы (роговая обманка + актинолит), ц — циркон.

Note. GGC is geological-genetic complexe, LG is lithological group: ps* is cohesive sands; qtz is quartz, flds is feldspars, ore is ore minerals (magnetite + ilmenite), am is amphiboles (hornblende + actinolite), z is zircon.

Материалы по минералогии получены для 9 образцов. Выявлены следующие особенности: кварц и полевые шпаты по содержанию близки (Kz 0,88—1,28); в тяжелой фракции изменяется минеральная ассоциация — это рудные минералы (магнетит + ильменит), содержание которых составляет 50,2—75,6%; амфиболы присутствуют в заметном количестве (8,6—26,9%); циркона мало (1,1—5,9%); коэффициент устойчивости изменяется от 0,05 до 0,64 в зависимости от количества амфиболов (табл. 2).

Эоловые (vQ₃₋₄ — ps*) и делювиально-эоловые (d-vQ₃₋₄ — ps*) покровы широко развиты в окрестностях города, где они образуют экзотический дюнно-увалистый микрорельеф с участками соснового леса. В этом случае амфиболы, присутствующие в тяжелой фракции, можно рассматривать в качестве минералов-пришельцев (это продукт эолового привноса материала). Кроме того, замечено, что в некоторых образцах делювиально-эоловых связных песков возрастает масса тяжелых компонентов (до 0,1000—0,1432 г) (табл. 2).

Смену минеральной ассоциации (преобладание рудных) в аллювии, эоловых и делювиально-эоловых комплексах можно объяснить влиянием пород «коренной основы» (базальты, андезиты пермской эффузивной формации).

Связные пески в районе Мурэна отличаются незначительной химической зрелостью, поскольку полевых шпатов здесь вполне достаточно и присутствуют амфиболы (причиной является современный умеренно гумидный резко континентальный климат, когда сохраняются слабо устойчивые к выветриванию компоненты).

Общие выводы по северной зоне (Сухэ-Батор, Мурэн) можно сформулировать следующим образом: а) присутствие минералов-пришельцев (это амфиболы) подтверждает периодическое участие эоловых процессов при формировании связных песков; б) слабая химическая зрелость отложений определяется современной климатической зональностью; в) в северной зоне Западной Монголии ситуация по минералогии терригенных компонентов опесчаненных лессовидных отложений (связных песков) аналогична Прибайкалью (Россия).

Центральная зона

Дзунмод (в 60 км на юго-восток от Улан-Батора) расположен в границах раннепалеозойской межгорной впадины; западная часть площади города представляет собой поверхность древнего конуса выноса, центральная и восточная — пойму и первую террасу. Здесь распространены породы осадочно-метаморфической формации карбона (метапесчаники, сланцы) и гранодиориты интрузивной юрской формации.

Лессовые отложения (связные пески) залегают в виде маломощных делювиально-эоловых покровов на поверхности древнего конуса выноса и надпойменной террасы, а также представляют верхнюю часть разреза в центральной части межгорной впадины, где проводилось опорное бурение. На территории города пройдены три скважины (П1, П2, П4). Данные по минералогии терригенных компонентов получены для 18 образцов.

Для скв. П1 (глубина 29 м) установлен следующий разрез: верхний слой ($d-vQ_{3-4}$) — опесчаненные лессовидные отложения (ps^* — до 3 м), средний (dpQ) — красновато-коричневые суглинки с дресвой и щебнем (интервал 3—7 м); особую озерно-аллювиальную фацию в составе неоген-нижнечетвертичного комплекса представляют «кирпичные» глины (интервал 7—22 м), которые в низах разреза (интервал 22—29 м)

сменяются толщей крупнообломочных отложений с суглинистым заполнителем, возможно, неогенового возраста (dpN).

Характерная особенность территории Дзунмода — присутствие линзовидной высокотемпературной ($-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) многолетней мерзлоты в глинах и следы ее деградации (в пределах города расположено термокарстовое озеро).

Рассмотрим минералогические данные по разрезу скв. П1 (табл. 3).

Самая верхняя зона — это опесчаненные лессовидные отложения (связные пески) делювиально-эолового комплекса ($d-vQ_{3-4}$ — ps^*), обогащенные амфиболами-пришельцами, пироксены отсутствуют, рудных минералов немного (9,4%), эпидот замечен (27,5%), циркона очень мало, поэтому коэффициент устойчивости $< 0,10$; кварц и полевые шпаты близки по содержанию. Делювиально-эоловый комплекс отличается слабой химической зрелостью и является аналогом лессовых покровов Прибайкалья и северной зоны Западной Монголии; появление эпидота, возможно, связано с «коренной основой» (это гранодиориты интрузивной формации); господство амфиболов — признак участия эоловых процессов при формировании лессовидных покровов. Наблюдается «загадочная» закономерность (табл. 3) — при переходе от делювиально-эолового покрова к красноватым суглинкам с дресвой и щебнем снижается масса тяжелых компонентов (соответственно 0,1280 и 0,0180 г). Почему в эоловом комплексе возрастает масса тяжелой фракции?

В красноватых делювиально-пролювиальных суглинках с дресвой и щебнем (dpQ — cr^*) содержание амфиболов резко сокращается, отмечается эпидотовая минеральная ассоциация, в результате КУ повышается; в легкой фракции кварц иногда меняется по содержанию с полевыми шпатами.

В «кирпичных» глинах отмечаются следующие особенности: обогащение слабоустойчивыми полевыми шпатами (Kz 0,45—0,48); господство в тяжелой фракции эпидота, который иногда вытесняется лейкоксеном (в образце с 18 м его содержание достигает 39%); резко возрастает количество циркона, амфиболов и пироксенов нет, поэтому коэффициент устойчивости достигает 9,8—10,4. Таким образом, в глинистых озерно-аллювиальных отложениях хорошо сохраняются полевые шпаты, но за счет отсутствия слабоустойчивых амфиболов и повышенного содержания циркона (в этом «виноваты», вероятнее всего, источники сноса — породы геологических формаций) коэффициент устойчивости аномально высок.

Таблица 3. Основные минералы легкой и тяжелой фракций, коэффициенты зрелости (Kz) и устойчивости (КУ) (Дзунмод, скв. П1 — выборочные данные)

Table 3. Main minerals of light and heavy fractions, coefficients of maturity (Kz) and stability (KU) (the Dzunmod, reference well P1 — selected data)

Образец — глубина, м / Sample — depth, m	ГГК / GGC	ЛГ / LG	Содержание минералов, % / Mineral content, %							Масса тяже- лой фракции, г / Weight of heavy fraction, g
			Легкая фракция / Light fraction			Тяжелая фракция / Heavy fraction				
			кв / qtz	пш / flds	Kz	ам / am	эп / ep	ц / z	KY / KU	
П1 — 1,0	d-vQ ₃₋₄	ps*	49,8	50,2	1,00	53,2	27,5	3,2	0,06	0,1280
П1 — 3,0	dpQ	cr*	35,6	63,8	0,56	10,7	55,4	7,0	0,65	0,0180
П1 — 6,0	dpQ	cr*	75,6	24,4	3,10	2,8	61,3	2,6	0,93	0,0990
П1 — 9,0	l-aN-Q ₁	gln	30,6	68,7	0,45	1,7	41,2	17,8	10,4	0,0133
П1 — 18,0	l-aN-Q ₁	gln	36,2	63,8	0,57	2,1	13,4	19,7	9,8	0,0510
П1 — 24,0	dpN	cr**	62,1	37,9	1,64	нет / missing	33,8	16,6	-	0,0031
П1 — 29,0	dpN	cr**	68,1	31,9	2,13	нет / missing	66,1	7,6	-	0,0274

Примечание. Здесь и в табл. 4: ГГК — геолого-генетический комплекс, ЛГ — литологическая группа: ps* — связные пески, cr* — красноватые суглинки с дресвой и щебнем, gln — «кирпичные» глины, cr** — супесчано-суглинистый (облессованный) заполнитель в крупнообломочных отложениях; кв — кварц, пш — полевые шпаты, ам — амфиболы (роговая обманка + актинолит), эп — эпидот, ц — циркон; - показатель не определялся.

Note. Here and in table 4: GGC is geological-genetic complex, LG is lithological group: ps* is cohesive sands, cr* is reddish clayey soils with debris and rubble, gln is «brick clays», cr** is sandy-loam filler in coarse clastic sediments; qtz is quartz, flds is feldspars, am is amphiboles (hornblende + actinolite), ep is epidote, z is zircon; «-» means that the indicator was not determined.

Видимо, водная среда и жаркий климат при формировании глин способствовали сохранению полевых шпатов; циркон и эпидот поступали из метапесчаников карбона (?); амфиболы отсутствовали, значит, не принимал участия и эоловый фактор.

В низах разреза (24—29 м) в составе суглинистого заполнителя крупнообломочных толщ изменяются минеральные ассоциации: в легкой фракции на первое место выходит кварц, в тяжелой преобладают циркон или эпидот. Причина этих изменений заключается в смене геолого-генетического комплекса, возможно, на более древний по возрасту (неогеновый период?). Полевые шпаты успели частично разрушиться в процессе переноса и аккумуляции вещества, амфиболов нет, их заменили циркон или эпидот (из сланцев метаморфической формации и гранодиоритов?).

В разрезе скв. П2 отмечены те же закономерные изменения минералогии терригенных компонентов, в том числе повышение массы тяжелой фракции в делювиально-эоловом комплексе (табл. 4).

В озерно-аллювиальных «кирпичных» глинах зафиксировано резкое уменьшение массы тяжелой фракции в некоторых образцах. Например, в образце П2 — 17 м она составляет 0,0030 г, П2 — 21 м — 0,1300 г. Причина этих колебаний, по всей вероятности, заключается в содержании

лимонита и лейкоксена — в первом случае они отсутствуют, во втором в сумме составляют 20,8%.

В качестве заключения по изложенным материалам можно предложить особую «монгольскую модель», когда при формировании отложений происходила смена типов литогенеза: жаркий аридный климат в период образования «кирпичных» глин (N-Q₁) сменился на холодный аридный (Q₂₋₃).

Западная зона

Улясутай расположен в отрогах Хангайского нагорья на междуречье Чигэстэй-Богдын-гол. Северная и южная части города находятся в пределах древних конусов выноса, центральная представляет собой высокую пойму и первую надпойменную террасу высотой 4—5 м. В районе распространены породы среднепермской интрузивной формации — крупно- и среднезернистые розоватые граниты.

На поверхности древнего конуса наблюдается дюнный микрорельеф, формирование которого связано с эоловыми песчаными покровами, представленными в верхней части разреза (до 4—5 м) связными песками (vQ₃₋₄ — ps*). Аналогичные опесчаненные лессовидные отложения, обладающие агрегированностью и особыми свойствами (пониженный коэффициент фильтрации,

Таблица 4. Основные минералы легкой и тяжелой фракций, коэффициенты зрелости (Kz) и устойчивости (КУ) (Дзунмод, скв. П2)**Table 4.** The main minerals of light and heavy fractions, coefficients of maturity (Kz) and stability (KU) (the Dzunmod, reference well P2)

Образец — глубина, м / Sample — depth, m	ГГК / GGC	ЛГ / LG	Содержание минералов, % / Mineral content, %							Масса тяжелой фракции, г / Weight of heavy fraction, g
			Легкая фракция / Light fraction			Тяжелая фракция / Heavy fraction				
			кв / qtz	пш / flds	Kz	ам / am	эп / ep	ц / z	КУ / KU	
П2 — 1,0	d-vQ ₃₋₄	ps*	49,4	50,0	1,0	41,4	37,2	2,2	0,05	0,1020
П2 — 3,5	dpQ	cr*	48,2	51,8	0,9	нет / missing	38,2	12,8	-	0,0450
П2 — 7,0	dpQ	cr*	56,2	43,8	1,28	4,5	64,1	4,00	0,89	0,0870
П2 — 15,0	dpQ	cr*	23,8	74,7	0,31	4,5	60,1	14,0	3,1	0,0380
П2 — 17,0	l-aN-Q ₁	gln	35,7	64,3	0,56	0,3	25,2	15,2	50,4	0,0030
2 — 21,0	l-aN-Q ₁	gln	44,0	56,0	0,79	нет / missing	26,0	нет / missing	-	0,1300

Таблица 5. Основные минералы легкой и тяжелой фракций, коэффициенты зрелости (Kz) и устойчивости (КУ) (Улясуйтай)**Table 5.** The main minerals of light and heavy fractions, coefficients of maturity (Kz) and stability (KU) (the Uliassutai)

Образец — глубина, м / Sample — depth, m	ГГК / GGC	ЛГ / LG	Содержание минералов, % / Mineral content, %								Масса тяже- лой фракции. г / Weight of heavy fraction, g
			Легкая фракция / Light fraction			Тяжелая фракция / Heavy fraction					
			кв / qtz	пш / flds	Kz	руд / ore	эп / ep	ам / am	ц / z	KY / KU	
20 — 1,5	aQ ₃₋₄	ps*	45,7	47,7	0,96	80,5	5,2	2,5	3,6	1,74	0,0508
24 — 5,0	vQ ₃₋₄	ps*	47,8	49,4	0,97	72,2	4,5	8,0	4,5	0,60	0,8700
16 — 1,5	dpQ	ps**	51,7	46,3	1,12	66,0	10,2	9,5	2,2	0,25	0,0285
20 — 2,7	dpQ	ps**	43,0	51,0	0,84	51,5	15,7	9,4	6,3	0,67	0,0167
20 — 6,0	dpQ	ps**	53,2	43,9	1,22	57,4	11,0	14,0	4,1	0,29	0,0510
20 — 8,0	dpQ	ps**	52,3	45,5	1,15	59,4	11,5	12,1	2,0	0,17	0,0643

Примечание. ГГК — геолого-генетический комплекс, ЛГ — литологическая группа: ps* — связный песок, ps** — связный песок в качестве заполнителя крупнообломочных отложений; минералы: кв — кварц, пш — полевые шпаты, руд — рудные минералы (магнетит + ильменит), эп — эпидот, ам (роговая обманка + актинолит) + п (пироксен — авгит + гиперстен), ц — циркон.

Note. GGC is geological-genetic complexe, LG is lithological group: ps* is cohesive sand; ps** is cohesive sand as a filler of coarse clastic sediments; minerals: qtz is quartz, flds is feldspars, ore is ore minerals (magnetite + ilmenite), ep is epidote, am is amphiboles (hornblende + actinolite) + p (pyroxene-augite + hypersthene), z is zircon.

уменьшение угла естественного откоса под водой, слабое проявление пластичности), отмечаются в составе аллювиального комплекса (aQ₃₋₄ — ps*).

Нерасчлененные четвертичные делювиально-пролювиальные отложения в составе древнего конуса выноса — это крупнообломочные образования с песчаным заполнителем, который также относится к группе связных песков (так называемый облессованный супесчано-песчаный материал — dpQ — cr**).

Для проведения иммерсионного анализа из естественных обнажений с глубины 1,5—8,0 м было отобрано шесть образцов связных пес-

ков, представляющих аллювиальный и золовый комплексы, а также заполнитель крупнообломочных делювиально-пролювиальных толщ (табл. 5).

В аллювии (ps*) кварц и полевые шпаты присутствуют в равных количествах (Kz 0,96); среди тяжелых минералов главенствуют рудные (магнетит + ильменит), в качестве второстепенных компонентов отмечены эпидот, циркон, сфен, гранат и амфиболы (2,3—5,2%). Коэффициент устойчивости, рассчитанный по тяжелой фракции, реальной картины о степени химической зрелости отложений не отражает, в то же время соотношения кварца и полевых шпатов подтверждают слабую

степень химических преобразований в условиях современной климатической зональности.

Эоловый комплекс (ps^*) почти не отличается от аллювиального, но среди тяжелых компонентов появляются (принесенные ветром?) амфиболы, поэтому коэффициент устойчивости отражает реальную ситуацию, которая свидетельствует о пониженной степени химической зрелости. Однако следует снова отметить одну особенность — в эоловых отложениях в 17 раз больше масса тяжелых минералов по сравнению с аллювием. Почему?

В песчаном заполнителе (это те же связные пески) древних (четвертичных нерасчлененных) делювиально-пролювиальных крупнообломочных отложений (dpQ — ps^{**}) изменяются минеральные ассоциации: среди легких компонентов несколько больше кварца (Kz 1,12—1,22), в тяжелой фракции сокращается содержание рудных минералов, больше эпидота, заметно присутствие амфиболов (особенно на глубине 6—8 м). Если в эоловом комплексе появление амфиболов можно объяснить участием эолового фактора, то их присутствие в заполнителе древних делювиально-пролювиальных отложений, вероятнее всего, связано с гранитами среднепермской интрузивной формации, но возможен и эоловый фактор (?). Присутствие амфиболов при незначительном содержании циркона определяет слабую степень химической зрелости заполнителя (KU 0,17—0,29).

Масса тяжелых компонентов в заполнителе делювиально-пролювиального комплекса относительно постоянна (0,0167—0,0643 г) и аналогична аллювию, следовательно, много меньше, чем в эоловых накоплениях.

Как указывалось выше, данные по минералогии были получены по образцам из естественных обнажений до глубины 8 м. Но по фондовым материалам прежних изысканий известно, что в пределах города (район автобазы) проводилось бурение, в результате которого на глубине 24 м были вскрыты «кирпичные» глины озерно-аллювиальной фации, аналогичные распространенным в центральной зоне (Дзунмод). Значит, эти глины являются характерными древними (неоген-нижнечетвертичными) фациями, распространенными в центральной и западной зонах, при этом, вероятнее всего, они заполняют микрограбены, существующие на различных участках монгольской территории. Например, в районе города Эрдэнэ (северная зона) аналогичный микрограбен, заполненный озерно-аллювиальными красноватыми глинами мощностью до 4—6 м, был вскрыт скважинами на глубине 8 м в толще

крупнообломочных отложений нерасчлененного делювиально-пролювиального комплекса [12].

Выводы по западной зоне заключаются в следующем. Во-первых, широко развиты связные пески, представляющие аллювиальный и эоловый комплексы, но амфиболы отмечены только в эоловых покровах, где резко увеличивается масса тяжелых компонентов; во-вторых, распространены толщи крупнообломочных отложений с облессованным супесчано-песчаным заполнителем (это те же связные пески) с амфиболами (эоловый фактор?); в-третьих, фондовые материалы по бурению подтверждают наличие в разрезе (на глубине 24 м) «кирпичных» глин озерно-аллювиального неоген-нижнечетвертичного возраста, аналогичных обнаруженным в центральной зоне (Дзунмод).

Южная зона

Даланзадгад расположен в пределах межгорной котловины в северной части Южно-Гобийской полупустынной равнины, которая представляет собой типичную аридную область, где нет постоянной гидросети, количество осадков составляет всего 125 мм/год.

В геоморфологическом отношении это пологоволнистая денудационно-аккумулятивная равнина с различной глубиной залегания скального «фундамента» (10—115 м).

Широко развита система оврагов-сайров глубиной до 2 м, шириной 2—10 м, с вертикальными стенками, сложенными сцементированным обломочным материалом с линзами и карманами связных песков. Образование этих форм происходит в период редких сильных дождей и связано с эрозионно-суффозионно-обвальными процессами.

На территории распространены породы эффузивной (андезиты) и метаморфической средне-верхнедевонской формации (аргиллиты, кремнистые сланцы бордового и серого цвета).

Четвертичные отложения представлены связными песками делювиально-пролювиального комплекса (dpQ_{3-4} — ps^*) и крупнообломочными более древними (нерасчлененными) делювиально-пролювиальными образованиями с заполнителем в виде того же связного песка (dpQ — ps^{**}).

Мощность молодых делювиально-пролювиальных покровов 1,0—4,0 м; иногда они встречаются в виде карманов и клиньев среди крупнообломочных отложений. Таким образом, и в южной зоне распространены связные пески, представляющие собой опесчаненные лессовидные образования с высоким содержанием карбонатов (до

12%), которые при влажности 13—19% и природной плотности 1,65—1,80 г/см³ проявляют просадочность при вертикальной нагрузке 0,3 МПа (коэффициент относительной просадочности составляет 0,010—0,080).

Кроме того, опорными скважинами были обнаружены озерные «кирпичные» глины мел-палеогенового возраста (IK₂-Pg — gln), вскрытая мощность 14 м. Напомним, что в центральной и западной зонах также описаны «кирпичные» глины озерно-аллювиальных фаций, но более молодого возраста (N-Q₁ — gln).

На территории города пробурены три скважины — Д1 (глубина 28 м), Д2 (25 м), Д3 (22 м). Определения минерального состава терригенных компонентов лессовых (связные пески) и глинистых («кирпичные» глины) отложений выполнены для 23 образцов. Кроме того, изучена минералогия связных песков, заполняющих клинья и карманы в крупнообломочных толщах (четыре образца). Таким образом, для южной зоны получен максимальный набор данных по минеральному составу терригенных компонентов — 27 образцов.

Приводится разрез и, соответственно, минеральный состав терригенных компонентов отложений по скв. Д1 (табл. 6).

Верхняя зона (0—4 м) — опесчаненный лесовидный покров делювиально-пролювиально-

го молодого комплекса, представленный связными песками (dpQ₃₋₄ — ps*). В легкой фракции отмечается явное преобладание кварца; тяжелая фракция имеет цирконо-рудную минеральную ассоциацию, эпидот отсутствует, также практически нет амфиболов; акцессорные минералы — сфен (2,5%), гранат (4,6); к числу особых признаков относится очень небольшая масса тяжелых компонентов (0,0060 г). Отложения отличаются повышенными значениями коэффициентов зрелости (2,61) и устойчивости (13,6), что свидетельствует о высокой степени их химической зрелости. По всей вероятности, состав терригенных компонентов обеспечивается «коренной основой» (рудные и циркон из эффузивов, гранаты — из пород метаморфической формации), минералы-пришельцы (амфиболы) отсутствуют.

Далее (интервал 4—16 м) вскрывается толща крупнообломочных отложений (заполнитель — связный песок) древнего конуса выноса (dpQ — ps**). При смене ГГК решительно изменяется и минералогия: масса «шлиха» (тяжелой фракции) возрастает в 20 раз (0,0060—0,1250 г), в качестве ведущего компонента появляется эпидот (минерал в гранитах, диоритах, габброидах), кварц по содержанию сравнялся с полевыми шпатами (Kz 0,91—1,10); на глубине 14,5 м (на границе с «кирпичными» озерными глинами)

Таблица 6. Основные минералы легкой и тяжелой фракций, коэффициенты зрелости (Kz) и устойчивости (KU) (Даланзадгад, скв. Д1)

Table 6. The main minerals of light and heavy fractions, coefficients of maturity (Kz) and stability (KU) (the Dalanzadgad, reference well D1)

Образец — глубина, м / Sample — depth, m	ГГК / GGC	ЛГ / LG	Содержание минералов, % / Mineral content, %								Масса тяжелой фракции, г / Weight of heavy fraction, g
			Легкая фракция / Light fraction			Тяжелая фракция / Heavy fraction					
			кв / qtz	пш / flds	Kz	руд / ore	эп / ep	ам / am	ц / z	KY / KU	
Д1 — 2,0	dpQ ₃₋₄	ps*	71,7	23,9	2,61	73,7	нет	0,5	9,5	13,6	0,0060
Д1 — 12,0	dpQ	ps**	46,9	47,8	0,91	21,9	55,2	2,5	4,6	1,6	0,1250
Д1 — 14,5	dpQ	ps**	51,5	40,7	1,10	23,4	30,1	19,2	7,5	0,4	0,0120
Д1 — 17,0	IK ₂ -Pg	gln	83,4	14,9	5,61	50,7	2,0	нет	20,0	6,9	0,0010
Д1 — 19,0	IK ₂ -Pg	gln	53,8	40,6	1,80	28,6	32,4	1,7	10,4	4,5	0,0142
Д1 — 26,0	IK ₂ -Pg	gln	50,7	39,3	1,10	33,4	41,5	1,2	8,5	8,5	0,0878
Д1 — 28,0	IK ₂ -Pg	gln	81,3	16,9	4,50	69,9	4,6	0,2	15,3	79,0	0,0022

Примечание. ГГК — геолого-генетический комплекс; ЛГ — литологическая группа; ps* — связный песок, ps** — связный песок в качестве заполнителя крупнообломочных отложений, gln — «кирпичные глины»; минералы: кв — кварц, пш — полевые шпаты, руд — рудные минералы (магнетит + ильменит), эп — эпидот, ам — амфиболы (роговая обманка + актинолит), ц — циркон.

Note. GGC is geological-genetic complexes, LG is lithological group: ps* is cohesive sand; ps** is cohesive sand as a filler of coarse clastic sediments; gln is «brick clays»; minerals: qtz is quartz, flds is feldspars, ore is ore minerals (magnetite + ilmenite), ep is epidote, am is amphiboles (hornblende + actinolite), z is zircon.

вдруг появляются амфиболы (19,2%). Возможно, при накоплении делювиально-пролювиальной четвертичной (нерасчлененной по возрасту) крупнообломочной толщи некоторое участие принимали эоловые процессы (появились минералы-пришельцы?).

Ниже (Д1 — 17,0 м) снова происходит смена комплекса — залегает толща «кирпичных» озерных глин мел-палеогенового возраста (IK₂-Pg — gln), в результате изменяется минеральный состав терригенных компонентов: резко увеличивается содержание кварца (Kz 5,61), в тяжелой фракции «пропадают» эпидот и амфиболы, фиксируется цирконо-рудная минеральная ассоциация и, соответственно, высокий коэффициент устойчивости; резко снижается масса «шлиха». Однако далее по разрезу (обр. Д1 — 19 м, Д1 — 26 м) среди тяжелых компонентов опять господствуют эпидот (32—51%) и рудные минералы (28,6—33,1%), сохраняется высокий коэффициент устойчивости. В образце Д1 — 28 м сохраняется цирконо-рудная ассоциация в тяжелой фракции (очень высок коэффициент устойчивости — 79, возрастает коэффициент зрелости — 4,5), эпидот исчезает, но появляются аутигенные лимонит (7,0) и лейкоксен (2,1%), встречен барит (0,5%).

Кроме того, в образце отмечается резкое (в 40 раз) снижение массы тяжелых компонентов — соответственно 0,0022 (28 м) и 0,0878 г (26 м). Почему? Можно рассмотреть вариант о влиянии эпидота на изменение массы «шлиха». Эпидот имеет плотность 3,25—3,38 г/см³, основные компоненты химического состава включают оксиды кальция

(23,5%), алюминия (24,1%), железа (12,6%) [20], но при возрастании содержания железа до 17% происходит увеличение плотности минерала, поэтому при его повышенном содержании увеличивается масса тяжелой фракции. Возможно, «наш» эпидот имеет повышенную плотность по причине высокого содержания железа, поэтому происходят резкие изменения массы «шлиха». Например, в образце Д1 — 26 м масса тяжелой фракции 0,0878 г, Д1 — 28 м — 0,0022 г; в первом случае содержание эпидота 41,5%, во втором — 4,6%. Аналогичная ситуация наблюдается по скв. Д2: образец с глубины 11 м имеет массу «шлиха» 0,1190 г, 16 м — 0,0070 г; в первом случае содержание эпидота 56,4%, во втором — 9,6%.

По скв. Д2 вскрыт аналогичный разрез. При анализе минералогических данных установлено, что в заполнителе крупнообломочных отложений конуса выноса (интервал 5—9 м) фиксируются амфиболы, значит, подтверждается наше предположение об участии эолового фактора при накоплении этой толщи. Кроме того, для «кирпичных» глин (интервал 15—25 м) выявлены критерии их озерного генезиса — высокое содержание барита (до 91%) и лимонита (до 30%).

Связные пески в «клиньях и карманах». Данные о минеральном составе этих песков (d-vQ₃₋₄ — ps^{***}) представлены в таблице 7. В легкой фракции преобладает кварц (Kz 1,5—2,7); среди тяжелых минералов фиксируется рудная ассоциация, но в заметном количестве присутствуют амфиболы и эпидот, циркона очень мало, в результате коэффициент устойчивости снижается до 0,10—0,17.

Таблица 7. Основные минералы легкой и тяжелой фракций, коэффициенты зрелости (Kz) и устойчивости (КУ) связных песков из клиньев и карманов в крупнообломочных отложениях

Table 7. The main minerals of light and heavy fractions, coefficients of maturity (Kz) and stability (KU) of cohesive sands from wedges and pockets in coarse clastic sediments

Образец — глубина, м / Sample — depth, m	ГГК / GGC	ЛГ / LG	Содержание минералов, % / Mineral content, %							
			Легкая фракция / Light fraction			Тяжелая фракция / Heavy fraction				
			кв / qtz	пш / flds	Kz	руд / ore	эп / ep	ам / am	ц / z	КУ / KU
116 — 0,7	d-vQ ₃₋₄	ps ^{***}	59,6	39,2	1,5	41,2	25,0	18,3	3,1	0,17
125 — 2,0	d-vQ ₃₋₄	ps ^{***}	48,7	23,4	2,1	56,0	19,5	14,1	1,4	0,10
126 — 1,0	d-vQ ₃₋₄	ps ^{***}	55,5	19,6	2,7	50,0	19,6	19,7	10,9	0,12
115 — 1,0	d-vQ ₃₋₄	ps ^{***}	64,8	32,7	2,0	60,6	10,2	8,2	3,7	0,46

Примечание. ГГК — геолого-генетический комплекс; ЛГ — литологическая группа: ps^{***} — связный песок из клиньев и карманов в крупнообломочных отложениях нерасчлененного четвертичного делювиально-пролювиального комплекса (dpQ); минералы: кв — кварц, пш — полевые шпаты, руд — рудные минералы (магнетит + ильменит), эп — эпидот, ам — амфиболы (роговая обманка + актинолит), ц — циркон.

Note. GGC is geological-genetic complex, LG is lithological group: ps^{*} is cohesive sand; ps^{**} is cohesive sand from wedges and pockets in coarse clastic sediments of undivided Quaternary deluvial-proluvial complex (dpQ); minerals: qtz is quartz, flds is feldspars, ore is ore minerals (magnetite + ilmenite), ep is epidote, am is amphiboles (hornblende + actinolite), z is zircon.

Таким образом, форма залегания связанных песков и появление в тяжелой фракции «знаменитых» амфиболов-пришельцев позволяют предположить при их накоплении действие эоловых процессов в условиях перигляциального режима плейстоцена-голоцена. По величине коэффициентов зрелости и устойчивости оценить степень химических преобразований «заполнителя клиньев и карманов» можно как достаточно слабую.

По материалам южной территориальной зоны можно сделать следующие выводы:

а) формирование своеобразной «молассы» в виде континентальной делювиально-пролювиальной древней четвертичной толщи с опесчаненным лессовидным заполнителем, вероятнее всего, происходило при участии эоловых процессов, свидетелем которых являются амфиболы; б) присутствие амфиболов обнаружено также в молодых связанных песках клиньев и карманов в «молассах», что подтверждает продолжение развития эоловых процессов в верхнем плейстоцене-голоцене в условиях перигляциального режима (этап эоловой седиментации относится к периоду Q_{2-3} — Q_{3-4}); в) установлены особые минералогические критерии для озерных «кирпичных» глин (IK_2 -Pg — gln), формирование которых происходило в условиях жаркого аридного климата (амфиболов здесь нет).

Результаты эксперимента по материалам Западной Монголии

Составляется матрица по результатам таблиц (№ 1—7) о содержании минералов легкой и тяжелой фракций в образцах различных геолого-генетических комплексов отложений; строится график-дендрограмма в Excel, которая представляет группирование объектов (образцов) по степени сходства между ними относительно анализируемых признаков. По горизонтали указывается «евклидово расстояние» (r) — мера сходства между объектами (от 0 до 1), вертикальная ось — номера образцов (по мере увеличения «евклидова расстояния» степень близости объектов уменьшается). К признакам-показателям относятся Kz (коэффициент зрелости), ам (содержание амфиболов), руд (рудных минералов — магнетит + ильменит), ц (циркона), эп (эпидота), КУ (коэффициент устойчивости) ($m = 6$); объекты включали 41 образец ($n = 41$). Программа классифицирует (группирует) образцы по степени близости выбранных показателей.

Первая группа включает 7 образцов северной и центральной зоны; отмечается высокий

уровень сходства между объектами ($r = 0,1$ — $0,2$) по причине постоянного присутствия амфиболов, которые можно считать минералами-пришельцами, свидетельствующими об участии эолового фактора.

Вторая группа объединяет 13 образцов различных комплексов центральной и южной зоны, имеет незначительную степень близости с первой группой ($r = 0,4$), поскольку в некоторых образцах амфиболов нет, но появляются характерные минералы в озерных глинах и увеличивается степень химической зрелости отложений.

Третья группа включает 18 образцов. По причине разнообразия геолого-генетических комплексов лессовых и глинистых отложений (соответственно, и минерального состава терригенных компонентов) эта группа имеет меньшее сходство с первой и второй (евклидово расстояние увеличивается до 0,45); именно сюда попали связанные пески с амфиболами из «клиньев и карманов» в качестве «эксклюзивного» объекта южной зоны. Три образца на графике занимают самостоятельное положение.

Заключение

1. Лессовые и глинистые отложения в западной Монголии представлены особыми литологическими группами — первые являются связными песками различных геолого-генетических комплексов или заполнителем в крупнообломочных толщах древних конусов выноса, вторые — «кирпичными» глинами озерно-аллювиального ($N-Q_1$) и озерного (K_2 -Pg) комплексов. Выводы по материалам северной, центральной, западной и южной зон подтверждают зависимость минерального состава исследованных отложений от их принадлежности к выделенным геолого-генетическим комплексам.

2. Представленные материалы позволяют предложить особую «монгольскую модель»: смена жаркого аридного климата, при котором формировались озерно-аллювиальные и озерные «кирпичные» глины, на холодный аридный (Q_{2-3}) привела к образованию в глинистой толще многолетней мерзлоты, которая затем деградировала. В дальнейшем в условиях холодного аридного климата (Q_{3-4}) наступило время формирования лессовых покровов при периодическом участии эоловых процессов.

3. Появление амфиболов, которые рассматриваются в качестве минералов-пришельцев в составе тяжелой фракции связанных песков, указывает на участие эоловых процессов при формировании делювиальных, собственно эоловых

и «молассовых» образований, признаком такого участия можно считать резкое увеличение массы тяжелых компонентов. Среди тяжелых минералов «кирпичных» глин озерно-аллювиального и озерного комплексов, залегающих на глубине 15—24 м, амфиболов практически нет.

4. Наиболее представительные материалы получены для центральной и южной зоны, где минеральный состав терригенных компонентов определялся по образцам опорных скважин, в которых четко наблюдались изменения минерального состава отложений при смене геолого-генетического комплекса. В южной зоне установлены особые признаки озерных «кирпичных» глин, формирование которых происходило в условиях жаркого аридного климата, о чем свидетельствует

присутствие в тяжелой фракции барита, лейкоксена и лимонита.

5. Иммерсионный метод до сих пор не утратил своего значения при изучении осадочных пород, поэтому особый интерес с научной и практической точки зрения представляет впервые полученная информация по новому объекту — территории Западной Монголии. По этой причине можно рекомендовать использование предложенной методической схемы при проведении геологических и инженерно-геологических работ, а также признать необходимость продолжения исследований в указанном направлении (можно вспомнить классическую монографию В.П. Батурина «Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Батурин В.П. Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. М.—Л. 1947. 339 с.
2. Белоусова О.Н., Михина В.В. Общий курс петрографии. М.: Недра, 1972. 344 с.
3. Болотова Н.Я. К стратиграфии кайнозойских отложений Северо-Восточной Монголии // Материалы по геологии Монгольской Народной Республики. М.: Недра, 1966. С. 79—85.
4. Булах А.Г. Минералогия с основами кристаллографии. М.: Недра, 1989. 351 с.
5. Васильев В.И., Шешеня Н.Л., Чеховский А.Л. Формирование инженерно-геологических условий Центральной Монголии. М.: Наука, 1987. 142 с.
6. Данилов Б.С. Кластерный анализ в EXCEL // Строение литосферы и геодинамика. Иркутск, 2001. С. 18—19.
7. Инженерная геология СССР. Т. 3. Восточная Сибирь / Под ред. Г.А. Голодковской. М.: Изд-во МГУ, 1977. 659 с.
8. Рященко Т.Г., Акулова В.В., Ухова Н.Н. и др. Лессовые грунты Монголо-Сибирского региона. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2014. 241 с.
9. Логвиненко Н.В. Петрография осадочных пород (с основами методики исследований). М.: Высшая школа, 1974. 400 с.
10. Милаш А.В. Акцессорные минералы эйфельских, жигулевских и нижнефранских отложений юго-востока Воронежской антеклизы // Вестник Воронежского ун-та. Серия Геология. 2017. С. 31—42.
11. Окнова Н.С. Литолого-палеогеографические и геодинамические реконструкции при поисках неантиклинальных ловушек углеводородов (на примере Тимано-Печорской провинции). СПб.: Изд-во СПбГУ, 1998. 108 с.
12. Джурик В.И., Серебренников С.П., Рященко Т.Г. и др. Районирование сейсмической опасности территории города Эрдэнэца. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2011. 122 с.
13. Рященко Т.Г. Вещественный состав и свойства пород // Богучанское водохранилище. Подземные воды и инженерная геология. Новосибирск: Наука, 1979. С. 61—83.
14. Рященко Т.Г. Группирование геологических объектов методом кластер-анализа (на примере минералогических данных четвертичных пород Среднего Приангарья) // Методические аспекты прогнозирования природных явлений Сибири. Новосибирск: Наука, 1980. С. 92—102.
15. Рященко Т.Г. Литогенез и инженерно-геологическая оценка четвертичных отложений (Восточная Сибирь). Новосибирск: Наука. 1984. 164 с.
16. Джурик В.И., Потапов В.А., Кочетков В.М. и др. Сейсмическое микрорайонирование аймачных центров Монголии. Улан-Батор: Издательский центр по астрономии и геофизике, 1998. 248 с.
17. Татарский В.Б. Кристаллооптика и иммерсионный метод исследования минералов. М.: Недра, 1965. 306 с.
18. Шлыков В.Г., Харитонов В.Д. К методике количественного рентгеновского анализа минерального состава грунтов // Геоэкология. 2001. № 2. С. 129—140.
19. Шлыков В.Г., Трапезников П.В. Утерянный классификационный признак лессовых грунтов // Геоэкология. 2002. № 2. С. 156—162.
20. Юбельт Р. Определитель минералов (пер. с нем.). М.: Изд-во «Мир», 1978. 325 с.
21. Complex geophysical and seismological investigations in Mongolia / Eds. V.I. Dzhurik, T. Dugarmaa. Ulaanbaatar-Irkutsk, 2004. 315 p.
22. Hubbard C.R., Snuder R.I. RIR — Measurement and Use in Quantitative XRD // Powder Diffraction. 1988. V. 3. P. 74—77.
23. Ryashchenko T.G., Akulova V.V., Ukhova N.N. Processes of loess lithogenesis during Pleistocene — Holocene // Quaternary International. 2011. № 240. P. 150—155.

24. *Zimbaro M., et al.* The open metastable structure of a collapsible sand: fabric and bonding // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2016. V. 75. № 1. P. 125—139.

REFERENCES

1. Baturin V.P. Petrographic analysis of the geological past on terrigenous components. Moscow—Leningrad. 1947. 339 p. (In Russian).
2. Belousova O.N., Mikhina V.V. General course of petrography. Moscow: Nedra. 1972. 344 p. (In Russian).
3. Bolotova N.Ya. On the stratigraphy of the Cenozoic deposits of Northeastern Mongolia // *Materials on the geology of the Mongolian People's Republic*. Moscow: Nedra. 1966. P. 79—85 (In Russian).
4. Bulakh A.G. Mineralogy with the basics of crystallography. Moscow: Nedra. 1989. 351 p. (In Russian).
5. Vasiliev V.I., Sheshenya N.L., Chekhovskiy A.L. Formation of engineering-geological conditions of the Central Mongolia. Moscow: Nauka. 1987. 142 p. (In Russian).
6. Danilov B.S. Cluster analysis in EXCEL // *Structure of the lithosphere and geodynamics*. Irkutsk, 2001. P. 18—19 (In Russian).
7. *Engineering geology of the USSR. T. 3. The Eastern Siberia* / Ed. by Golodkovskaya G.A. Moscow: Publishing House of Moscow State University. 1977. 659 p. (In Russian).
8. Ryashchenko T.G., Akulova V.V., Ukhova N.N., et al. Loess soils of the Mongolian-Siberian region. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust, SB RAS. 2014. 241 p. (In Russian).
9. Logvinenko N.V. Petrography of the sedimentary rocks (with the basics of research methods). Moscow: Higher school. 1974. 400 p. (In Russian).
10. Milash A.V. Accessory minerals of the Eifelian, Givetian and the Lower Frasnian deposits of the southeast of the Voronezh anticline // *Bulletin of the Voronezh University. Series Geology*. 2017. P. 31—42 (In Russian).
11. Oknova N.S. Lithological-paleogeographic and geodynamic reconstructions in the search for non-anticlinal hydrocarbon traps (on the example of the Timan-Pechora province). St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg State University. 1998. 108 p. (In Russian).
12. Dzhurik V.I., Serebrennikov S.P., Ryashchenko T.G., et al. Zoning of the seismic hazard of the territory of the city of Erdenet. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust, SB RAS. 2011. 122 p. (In Russian).
13. Ryashchenko T.G. Material composition and properties of rocks // *The Boguchanskiy reservoir. Groundwater and engineering geology*. Novosibirsk: Nauka. 1979. P. 61—83 (In Russian).
14. Ryashchenko T.G. Grouping of geological objects by cluster analysis (on the example of mineralogical data of the Quaternary rocks of the Middle Angara region) // *Methodological aspects of forecasting natural phenomena in Siberia*. Novosibirsk: Nauka. 1980. P. 92—102 (In Russian).
15. Ryashchenko T.G. Lithogenesis and engineering-geological assessment of the Quaternary deposits (the Eastern Siberia). Novosibirsk: Nauka. 1984. 164 p. (In Russian).
16. Dzhurik V.I., Potapov V.A., Kochetkov V.M., et al. Seismic microzoning of the aimag centers of the Mongolia. Ulaanbaatar: Publishing Center for Astronomy and Geophysics. 1998. 248 p. (In Russian).
17. Tatarskiy V.B. Crystal optics and immersion method for studying minerals. Moscow: Nedra, 1965. 306 p. (In Russian).
18. Shlykov V.G., Kharitonov V.D. On the method of quantitative X-ray analysis of the mineral composition of soils / *Geoecology*. 2001. No. 2. P. 129—140 (In Russian).
19. Shlykov V.G., Trapeznikov P.V. Lost classification feature of loess soils // *Geoecology*. 2002. No. 2. P. 156—162 (In Russian).
20. Yubelt R. Determinant of minerals (translated from German). Moscow: Publishing house "Mir". 1978. 325 p. (In Russian).
21. Complex geophysical and seismological investigations in the Mongolia / Eds. V.I. Dzhurik, T. Dugarmaa. Ulaanbaatar—Irkutsk. 2004. 315 p.
22. Hubbard C.R., Snuder R.I. RIR. Measurement and Use in Quantitative XRD // *Powder Diffraction*. 1988. V. 3. P. 74—77.
23. Ryashchenko T.G., Akulova V.V., Ukhova N.N. Processes of loess lithogenesis during Pleistocene — Holocene // *Quaternary International*. 2011. No. 240. P. 150—155.
24. *Zimbaro M., et al.* The open metastable structure of a collapsible sand: fabric and bonding // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2016. V. 75. No. 1. P. 125—139.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT AUTHOR

Рященко Тамара Гурьевна — доктор геолого-минералогических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории инженерной геологии и геоэкологии Института земной коры СО РАН. 128, ул. Лермонтова, г. Иркутск 664033, Россия
e-mail: ryashenk@crust.irk.ru
тел.: +7 (914) 885-43-75
SPIN-код: 8791-2620
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5839-3471>

Tamara G. Ryashchenko — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Professor, Leading Researcher of the Laboratory of Engineering Geology and Geoecology of the Institute of the Earth Crust, SB RAS. 128, Lermontov str., Irkutsk 664033, Russia
e-mail: ryashenk@crust.irk.ru
tel.: +7 (914) 885-43-75
SPIN-code: 8791-2620
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5839-3471>



ОБ ОЦЕНКЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ДАВЛЕНИЙ ПРИ РАСЧЕТАХ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ

Д.Н. ГОРОБЦОВ^{1,*}, И.К. ФОМЕНКО¹, М.А. НОВГОРОВОДА¹, О.Н. СИРОТКИНА²

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

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
1, Ленинские горы, г. Москва 119991, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. При проектировании любых противооползневых мероприятий, при строительстве на неустойчивых склонах работы следует начинать с оценки степени их устойчивости. При использовании аналитических (традиционных) методов расчета такая оценка производится путем вычисления коэффициента устойчивости (K_s), который характеризуется отношением сил и/или моментов, удерживающих массив грунта на наклонной поверхности, к силам, сдвигающим этот массив.

Цель. В советской, а затем и российской практике для проектирования противооползневых мероприятий нередко требуется определять величину оползневого давления. Однако с внедрением в практику расчетов устойчивости склонов зарубежных методик и основанного на них программного обеспечения возник вопрос: возможно ли определение оползневого давления на его основе и какие существуют дополнительные подходы для расчетов и обоснования сооружений инженерной защиты на оползневых и оползнеопасных склонах?

Материалы и методы. Основным выводом выполненного исследования является нецелесообразность использования метода Г.М. Шахунянца и недопустимость использования методов предельного равновесия для расчета оползневого давления с целью проектирования сооружений инженерной защиты.

Результаты. Лучшим вариантом для расчета подобных задач является использование расширенного метода предельного равновесия. Однако данный подход в российской практике практически не используется. Как альтернативу можно рекомендовать основанный на методах предельного равновесия анализ дефицита удерживающих сил (в зарубежной терминологии — обратный анализ).

Ключевые слова: расчет устойчивости склонов, оползневое давление, метод Шахунянца, методы предельного равновесия, метод конечных элементов, расширенный метод предельного равновесия

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Благодарности: кафедра инженерной геологии МГРИ является участником Академического пакета Rccscience.

Для цитирования: Горобцов Д.Н., Фоменко И.К., Новгорода М.А., Сироткина О.Н. Об оценке оползневых давлений при расчетах устойчивости склонов. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(3):74—84. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-74-84>

Статья поступила в редакцию 07.03.2021

Принята к публикации 05.08.2022

Опубликована 17.10.2022

* Автор, ответственный за переписку

ESTIMATION OF LANDSLIDE PRESSURES IN SLOPE STABILITY CALCULATIONS

DENIS N. GOROBTSOV^{1,*}, IGOR K. FOMENKO¹, MARGARITA A. NOVGORODOVA¹, OLGA N. SIROTKINA²

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

² Lomonosov Moscow State University
1, Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia

ABSTRACT

Background. When developing anti-landslide measures during construction on unstable slopes, an assessment of the degree of their stability should be carried out first. When using analytical (conventional) [19] calculation methods, such an assessment is conducted by calculating the stability coefficient (K_s), which is characterised by the ratio of forces and/or moments holding the soil mass on an inclined surface to the forces shearing this mass.

Aim. Within the framework of Soviet and, further, Russian practice, anti-landslide measures are commonly developed based on determination of the magnitude of landslide pressures. However, with the introduction of foreign methodological approaches and respective software applications into the practice of slope stability calculations, the question arises whether these applications can be used for determining landslide pressures and what additional approaches exist for calculating and justifying engineering protection structures on landslide and landslide-prone slopes.

Materials and methods. The main conclusion of the study is the inexpediency of using the method proposed by G.M. Shakhunyants and the inadmissibility of using limit equilibrium methods to calculate landslide pressures when designing engineering protection structures.

Results. The best option for calculating such tasks is to use an extended method of marginal equilibrium. However, this approach is practically not used in Russian practice. Alternatively, we can recommend an analysis of the deficit of retaining forces based on the methods of marginal equilibrium (referred to as reverse analysis in foreign terminology).

Keywords: calculation of slope stability, landslide pressure, Shakhunyants method, ultimate equilibrium methods, finite element method, extended limit equilibrium method

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

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

Acknowledgments: The Department of Engineering Geology of the Moscow State Research Institute is a member of the Rocscience Academic Bungle.

For citation: Gorobtsov D.N., Fomenko I.K., Novgorodova M.A., Sirotkina O.N. Estimation of landslide pressures in slope stability calculations. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(3):74–84. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-74-84>

Manuscript received 07 March 2021

Accepted 05 August 2022

Published 17 October 2022

* Corresponding author

Активное освоение оползнеопасных территорий для строительства промышленных и гражданских зданий и сооружений предполагает проведение инженерных мероприятий, направленных на обеспечение их устойчивости. Разнообразие, сложность и многофакторность оползневой процесса делают

задачу разработки и внедрения передовых методик инженерной защиты архиважной. При проектировании любых противооползневых мероприятий, при строительстве на неустойчивых склонах работы следует начинать с оценки степени их устойчивости. При использовании аналитических

(традиционных) [15, 19, 20] методов расчета такая оценка производится путем вычисления коэффициента устойчивости (K_y), который характеризуется отношением сил и/или моментов, удерживающих массив грунта, к силам и/или моментам, сдвигающим этот массив. В советской, а затем и российской практике для проектирования противооползневых мероприятий нередко требуется определять величину оползневого давления. Однако с внедрением в практику расчетов устойчивости склонов зарубежных методик и основанного на них программного обеспечения возник вопрос: возможно ли определение оползневого давления на их основе и какие существуют дополнительные подходы для расчетов и обоснования сооружений инженерной защиты на оползневых и оползнеопасных склонах?

Целью данного исследования являлось рассмотрение существующих методик оценки оползневых давлений и их сравнительный анализ.

Объекты и методы

1.1. Объект исследования

Сахалинскую область по количеству проявления оползневых процессов следует отнести к одному из наиболее проблемных регионов России. В настоящий момент изучение оползневых процессов на Сахалине происходит в связи с необходимостью безопасной эксплуатации нефте- и газопроводов [1, 4]. В частности, значительная часть трассы трубопроводной системы «Сахалин-2», расположенная в Макаровском районе Сахалинской области, поражена оползневыми процессами.

Изучаемый объект расположен на западном склоне водораздельного гребня, подмываемом правым притоком р. Лазовая. Наибольшая крутизна наблюдается на оползневых уступах склона и достигает 30° . Уступы чередуются с выровненными горизонтальными площадками. Склон сложен элювиально-делювиальными отложениями мощностью от 1,5 до 3 м, которые перекрывают аргиллитоподобные глины верхней подсвиты быковской свиты (K_{bk}^2) [18]. В обнажениях и оползневых бровках срыва аргиллитоподобные глины выветрены до дресвяно-щебенистого материала в глинистом заполнителе. В зоне взаимодействия с пластово-поровыми водами мезозойских пород, приуроченных к зонам ослабления, они преобразуются в голубовато-серые глины мягкопластичной консистенции, которые слагают основной деформируемый горизонт оползневых тел, развитых на участке.

Оползневые явления на участке исследований представлены блоковыми оползнями мощностью до 15 м. захватывающими, как правило, весь склон.

По морфологии оползневого тела — это циркуобразные либо фронтальные, вытянутые вдоль склона, с четко выраженными бровками срыва и оползневыми ступенями.

Боковая эрозия в русле притока р. Лазовая значительно увеличивает интенсивность оползневого процесса. При подмыве нижних частей склонов развитие оползней носит регрессивный характер, и, зародившись в подножии склонов, такие оползни со временем могут достигать гребней водораздела.

1.2. Методы исследования

Большинство из существующих методов расчета оползней было разработано для вычисления коэффициента устойчивости склона. Затем эти расчеты преобразовывались для определения так называемого оползневого давления, т.е. давления, передающегося от неустойчивых грунтовых масс оползневого склона. При этом для проектирования противооползневых удерживающих конструкций разработаны способы построения эпюры оползневого давления по протяженности оползня [12].

Из всех существующих в настоящее время методов расчета рассмотрим: аналитический метод Г.М. Шахунянца [23], методы предельного равновесия [6] и расширенный метод предельного равновесия [6].

Метод Г.М. Шахунянца представляет наибольший интерес из всех подходов к расчету устойчивости склонов, относящихся группе методов [15, 19, 20], основанных на сложении сил, действующих на границе отсеков. Это связано со следующими причинами: он является наиболее строгим, так как в нем удовлетворяется условие предельного равновесия для всего оползневого блока; он чрезвычайно популярен в отечественной практике расчетов устойчивости; расчет оползневых давлений составляет суть данного метода. В классической постановке при расчетах оползневого давления положение наиболее опасной поверхности скольжения принимается уже установленным.

При расчетах устойчивости склона или оползневого давления в рассматриваемом методе сползающий грунтовый блок членится вертикальными линиями на ряд сегментов. Обычно сегменты принимаются такими, чтобы без потери точности можно было в их пределах принимать поверхность за плоскость, а сдвиговые характеристики грунтов

в пределах каждого сегмента по его основанию были одинаковы.

Подробный алгоритм расчета приведен в работах [13, 16, 24].

На рисунке 1 показана расчетная схема с разделением массива на отдельные блоки.

Коэффициент устойчивости всего оползневого блока, рассчитанный по методу Шахунянца, составил 1,13.

1.3. Методы предельного равновесия

В отечественной практике расчетов устойчивости склонов существует ошибочное мнение [9, 10, 14], что на основе методов предельного равновесия возможно определить оползневое давление. Интересно отметить, что разработчики методов предельного равновесия вполне понимали нереалистичность расчетных значений сил, действующих на границе сегментов. Моргенштейн и Прайс (1978) [8] писали, что одно из применений «...коэффициента устойчивости заключается в измерении среднего напряжения при сдвиге, мобилизованного в склоне». Далее

они утверждали: «Это напряжение нельзя путать с фактически давлением». К сожалению, иногда, по мере внедрения методов в практику, эти основные моменты забывают.

Все методы предельного равновесия требуют итеративных техник для определения K_y . Они обязательно должны отвечать двум критериям, а именно:

- многоугольник сил в каждом сегменте должен быть замкнут (для соблюдения условия равновесия);
- коэффициент устойчивости склона равен K_y в каждом из сегментов потенциального оползневого тела.

Вышесказанное значит, что силы, действующие на границе сегментов, представляют не фактические силы, из которых складывается оползневое давление, они в процессе расчета перераспределяются таким образом, чтобы удовлетворять описанным выше критериям, обеспечивающим выполнение условия предельного равновесия. Достаточно просто можно убедиться, что метод Г.М. Шахунянца этим критериям не удовлетворяет.

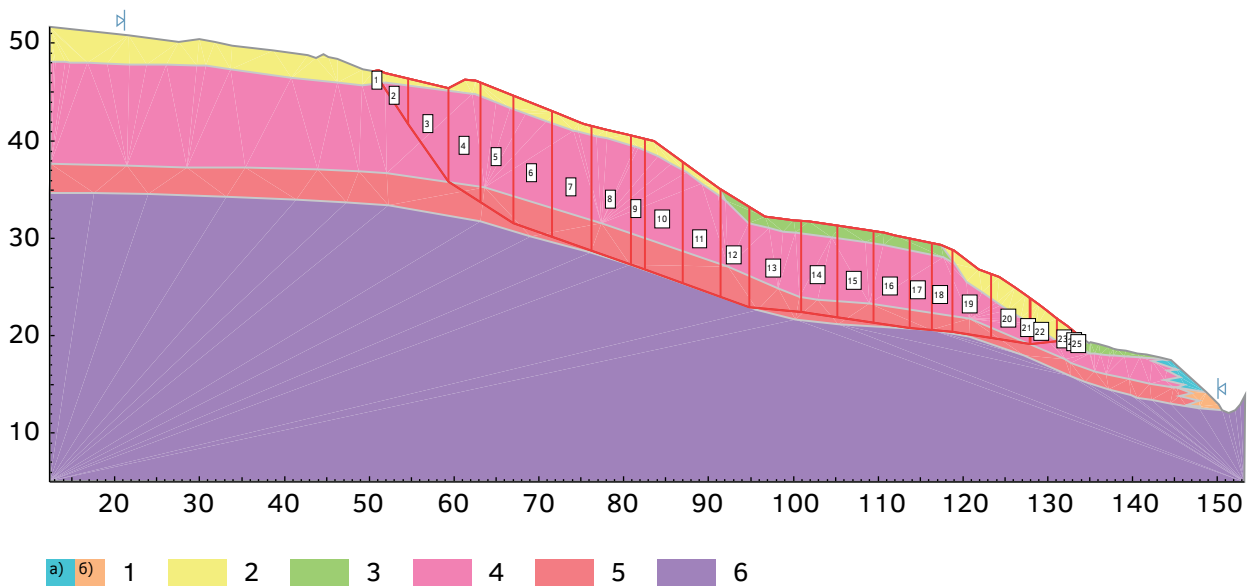


Рис. 1. Разделение рассматриваемого массива на расчетные блоки. 1 — аллювиальные отложения: а — голоценовые, б — палеоплейстоценовые; 2 — элювиально-делювиальные грунты (глина легкая тугопластичная); 3 — элювиально-делювиальные грунты (глина легкая твердая); 4 — переработанные до глин аргиллиты терригенной формации верхней подсвиты быковской свиты (глина легкая твердая); 5 — переработанные до глин аргиллиты терригенной формации верхней подсвиты быковской свиты (глина легкая текучепластичная); 6 — аргиллиты терригенной формации верхней подсвиты быковской свиты (аргиллит очень низкой прочности)

Fig. 1. Division of the considered array into calculated blocks. 1 — alluvial deposits: a — Holocene, b — Paleopleistocene; 2 — eluvial-deluvial soils (plastic clay); 3 — eluvial-deluvial soils (bass); 4, mudstones of the terrigenous formation of the upper subformation of the Bykovo Formation, processed to clays (bass); 5, mudstones of the terrigenous formation of the upper subformation of the Bykovo Formation, processed to clays (fluidplastic clay); 6 — mudstones of the terrigenous formation of the upper subformation of the Bykovo Formation (mudstone of very low strength)

Таким образом, применение методов предельного равновесия недопустимо для определения оползневого давления. Достаточно очевидно, что определение коэффициента устойчивости недостаточно для проектирования противооползневых сооружений (один и тот же K_y могут иметь и оползень-оплывина размером несколько кубических метров, и грандиозный оползень объемом в кубический километр). Означает ли это, что результаты, полученные на основе методов предельного равновесия, бесполезны для проектирования инженерной защиты? Ответ на поставленный вопрос — нет, не означает! Для разработки противооползневых мероприятий и оценки величины сдвигающей силы, которую надо компенсировать для обеспечения устойчивости склона с заданным K_y , в методах предельного равновесия применяется анализ дефицита удерживающих сил или, в зарубежной терминологии, — обратный анализ (данный подход не следует путать с термином «обратный анализ» в российской практике расчетов устойчивости склонов).

Обратный анализ использует уравнения предельного равновесия. Однако, вместо того чтобы рассчитывать коэффициент устойчивости (величина K_y задается заранее), определяется сила, необходимая для достижения указанного коэффициента устойчивости. На первом этапе для каждой потенциальной поверхности скольжения с K_y меньшим заданного уровня определяется величина удерживающей силы, необходимая для достижения заданного коэффициента устойчивости. На втором этапе определяется поверхность скольжения, для которой требуется максимальная

удерживающая сила. Определение положения такой поверхности скольжения и величины максимальной удерживающей силы являются результатами обратного анализа, которые могут быть использованы для проектирования противооползневых сооружений.

На рисунке 2 приведен результат обратного анализа для исследуемого склона, выполненный методом Ямбу [5]. Анализ выполненного расчета показывает, что рассчитанный K_y склона — 1,1. Для достижения заданного $K_y = 1,2$ необходимо увеличить удерживающие силы на 412 кН.

Коэффициент устойчивости всего оползневого блока, рассчитанный по методу Ямбу, составил 1,10.

1.4. Расширенный метод предельного равновесия [6]

Методы предельного равновесия основаны на принципе статики, т.е. комбинации моментов, вертикальных и горизонтальных сил. Однако они имеют ряд существенных недостатков, главными из которых являются следующие:

- методы предельного равновесия статически не определены и для решения системы уравнений требуются дополнительные допущения [22];
- они не удовлетворяют критерию неразрывности напряжений и деформаций [15].

Существенным фактором, влияющим на развитие оползней, является напряженно-деформированное состояние склона [9, 11, 15, 17, 21]. В настоящее время существуют две группы методов, которые используют результаты конечно-элементного анализа для определения

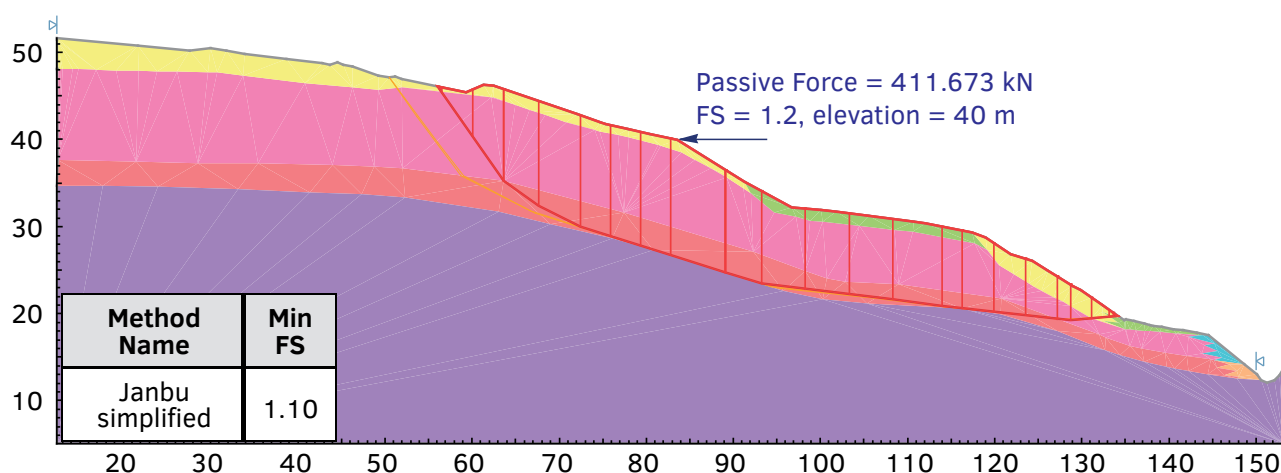


Рис. 2. Расчет устойчивости и обратный анализ (на заданный $K_u = 1.2$) методом Ямбу. условные обозначения см. на рисунке 1

Fig. 2. Calculation of stability and reverse analysis (for a given $K_u = 1.2$) by the Janbu method

напряженно-деформированного состояния с последующим расчетом коэффициента устойчивости склонов. К первой группе относится расширенный метод предельного равновесия [7]. В нем на основе линейного упругого анализа осуществляется расчет напряженного состояния склона. Ко второй группе относится упруго-пластичный анализ снижения прочности (Strength Reduction method) [3]. Следует заметить, что оба метода (как на основе упругой модели, так и на основе упруго-пластичной модели) дают близкие результаты [2]. В данном исследовании был использован расширенный метод предельного равновесия.

В 1969 г. Kulhawy сформулировал подход, позволяющий объединить методы предельного анализа и метод конечных элементов, и назвал его «Расширенный метод предельного равновесия». Процедура анализа следующая:

На первом этапе, необходимо определить распределение напряжений в склоне методом конечных элементов.

На втором этапе значения напряжений, рассчитанные методом конечных элементов, импортируются в традиционный расчет по методу предельного равновесия. Напряжения σ_x , σ_y и τ_{xy} известны для каждого узла конечно-элементной сетки, с помощью этой информации можно просчитать значения силы сдвига в средней точке основания для каждого сегмента. Принципиальная схема представлена на рисунке 3.

Коэффициент устойчивости рассчитывается по следующей формуле [7]:

$$K_y = \Sigma Sr / \Sigma Sm,$$

где Sr — прочность грунтов на сдвиг; Sm — мобилизованная сдвигающая сила.

Наиболее существенным преимуществом расширенного метода предельного равновесия в сравнении с традиционными [11, 15, 19] методами расчета является тот факт, что он является статически определенным и не нуждается в каких-либо дополнительных допущениях. Следствием этого является тот факт, что, в отличие от методов предельного равновесия, K_y в сегментах, на которые разбито потенциальное оползневое тело, не является постоянной величиной, что, в свою очередь делает возможным построение эпюры оползневых давлений вдоль поверхности скольжения.

На рисунке 4 приведены результаты расчета устойчивости исследуемого склона расширенным методом предельного равновесия.

Коэффициент устойчивости всего оползневого блока, рассчитанный по расширенному методу предельного равновесия, — 1,08, что достаточно хорошо согласуется с результатом, полученным методами Ямбу (K_y — 1,1) и Шахунянца (K_y — 1,13).

Результаты и обсуждение

Целью данного исследования являлось рассмотрение существующих методик оценки оползневых

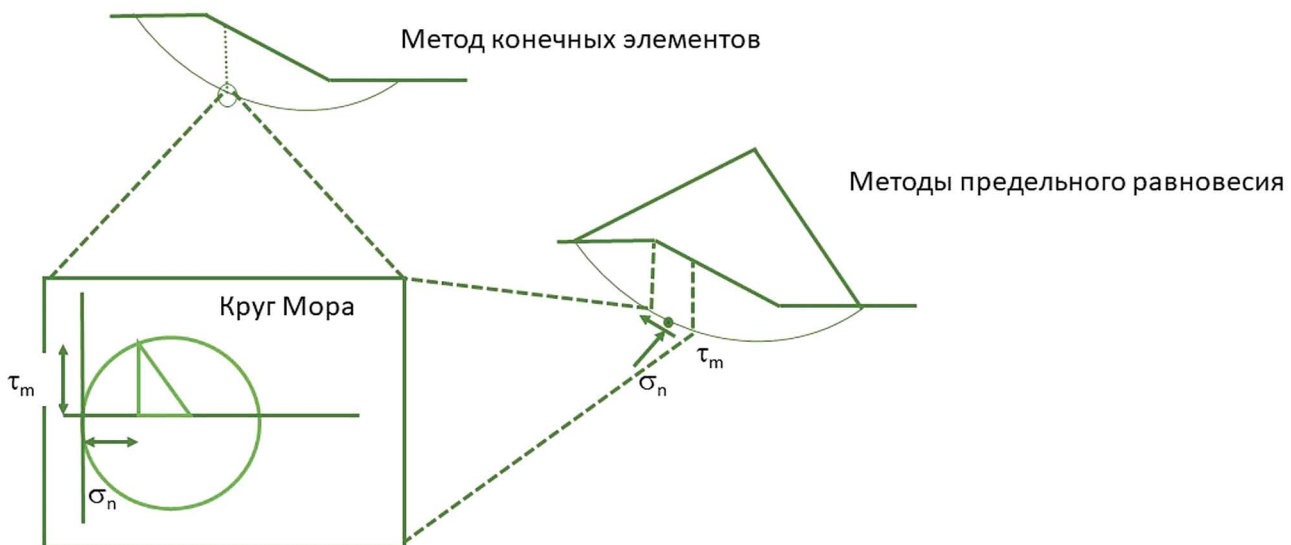


Рис. 3. Принципиальная схема метода Kulhawy. Напряжения «импортируются» из анализа методом конечных элементов в метод предельного равновесия

Fig. 3. Schematic diagram of the Kulhawy method. Stresses are “imported” from finite element analysis to the limit equilibrium method

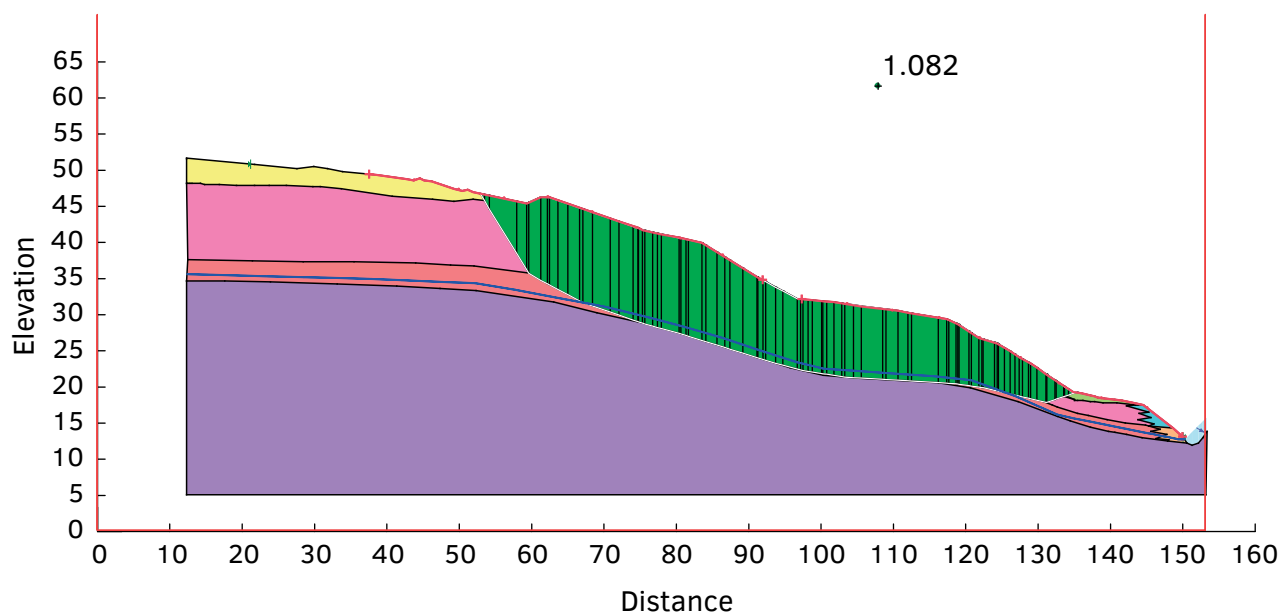


Рис. 4. Результат расчета устойчивости расширенным методом предельного равновесия. Условные обозначения см. на рисунке 1

Fig. 4. The result of stability calculation by the extended limit equilibrium method

давлений и их сравнительный анализ. По этой причине наибольший интерес представляет сравнение данных по оползневым давлениям, полученных расширенным методом предельного равновесия и методом Шахунянца. Графики распределения

оползневого давления вдоль поверхности скольжения, полученные данными методами, приведены на рисунке 5.

Анализ графиков оползневого давления показывает, что общая тенденция изменения оползневого давления вдоль поверхности скольжения в обоих методах достаточно близкая. Так же хорошо согласуются устойчивые и неустойчивые части потенциального оползневого тела. Однако абсолютные величины оползневого давления имеют большой разброс, при этом метод Г.М. Шахунянца дает, как правило, существенно завышенные значения. В таблице 1 приведено различие, рассчитанное в процентах от среднего между критическими точками, полученными методом Г.М. Шахунянца и расширенным методом предельного равновесия. Из таблицы видно, что различие может достигать 185%.



Рис. 5. График распределения оползневого давления вдоль поверхности скольжения

Fig. 5. Graph of the distribution of landslide pressure along the sliding surface

Заключение

На сегодняшний день в российской практике оценки устойчивости склонов наиболее распространенными подходами для расчета оползневого давления, рекомендованными к использованию [12, 14, 16], являются метод Г.М. Шахунянца и методы предельного равновесия. Основным выводом выполненного исследования является нецелесообразность использования метода Г.М. Шахунянца и недопустимость использования методов

Таблица 1. Различие в оползневых давлениях, полученных методом Г.М. Шахунянца и расширенным методом предельного равновесия

Table 1. The difference in landslide pressures obtained by the method of G.M. Shakhunyants and the extended method of limit equilibrium

Точки	Метод Шахунянца	Расширенный метод предельных равновесий	Различие в %
1	-42	65	43
2	160	64	86
3	31	-15	70
4	-275	-18	175
5	-314	-12	185
6	-120	-15	156
7	-48	-25	63
8	-63	-12	136
9	175	10	178
10	84	-5	178
11	7	-6	15
12	213	75	96
13	9	1	160

предельного равновесия для расчета оползневого давления с целью проектирования сооружений инженерной защиты.

Лучшим вариантом для расчета подобных задач является использование расширенного метода предельного равновесия. Однако данный

подход в российской практике практически не используется. Как альтернативу можно рекомендовать основанный на методах предельного равновесия анализ дефицита удерживающих сил (в зарубежной терминологии — обратный анализ).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Fomenko I.K., Gorobtsov D.N., Pendin V.V., Nikulina M.E.* The reasons of landslides activation at sakhalin island (on the example of landslide exploration at the river lazovaya). In Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses: Proc. of the 2018 European Rock Mechanics Symposium. 2018. Vol. 1. P. 797—803.
2. *Fredlund D.G., Fredlund M.D.* Keynote Lecture: Developments in Landslide Analysis // In: Duc Long P., Dung N. (eds) Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development. Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Vol 62. Pp. 47—54. DOI: 10.1007/978-981-15-2184-3_101
3. *Griffith D.V., Lane P.A.* Slope stability analysis by finite elements. Geotechnique. 1999. Vol. 49. No. 3. P. 387—403.
4. *Hearn G., Wise D., Hart Andrew B., O'Donnell N.* Assessing the potential for future first-time slope failures to impact the oil and gas pipeline corridor through the Makarov Mountains, Sakhalin Island, Russia // Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology. 2012. Vol. 45. No. 1. P. 79—88.
5. *Janbu N.* Application of composite slip surface for stability analysis//Proceedings of the European Conference on Stability of Earth Slopes. Stockholm, Sweden. Balkema, Rotterdam. 1954. P. 43—49.
6. *Krahn J.* Stability modeling with SLOPE/W. An Engineering Methodology: First Edition, Revision 1. Calgary, Alberta: GEO-SLOPE International Ltd., 2004. 396 p.
7. *Kulhawy F.* Finite element analysis of the behavior of embankments. Ph.D., thesis, University of California, Berkeley, 1969.
8. *Morgenstern N.R., Price V.E.* The analysis of the stability of general slip surface // Geotechnique. 1965. Vol. 15. P. 70—93.
9. *Бабаханов Б.С.* Определение величины оползневого давления на основе анализа напряженного состояния грунтового массива: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.02. Волгоград, 2013. 175 с.
10. Расчет устойчивости откосов и проектирование противооползневых сооружений / А.Н. Богомолов, С.В. Кузнецова, В.Н. Синяков, М.А. Шубин, В.П. Дыба, Г.М. Скибин, Ю.И. Олянский, О.А. Богомолова, А.Н. Ушаков // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строит. информатика. 2012. Вып. 8 (24), с. 1—21. Режим доступа: www.vestnik.vgasu.ru.

11. Богомолов А.Н. Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. Пермь: Изд-во ППИ, 1996. 150 с.
12. Гинзбург Л.К. Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления. М.: Центральное бюро научно-технической информации, 1986. 134 с.
13. Гинзбург Л.К. Противооползневые удерживающие конструкции. М., 1979.
14. ОДМ 218.2.006-2010. Рекомендации по расчету устойчивости оползнеопасных склонов (откосов) и определению оползневых давлений на инженерные сооружения автомобильных дорог. <http://gostrf.com/normadata/1/4293807/4293807223.pdf>
15. Пендин В.В., Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности. М.: ЛЕНАНД, 2015. 320 с.
16. Предложения по расчету устойчивости откосов высоких насыпей и глубоких выемок. М., 1966.
17. Саинов М.П. Влияние напряженного состояния склона из однородного грунта на его устойчивость // Вестник МГСУ. 2012. № 12. С. 111—116.
18. Сергеев К.Ф. Новые данные о характере взаимоотношений толщ позднемезозойских и кайнозойских отложений восточных склонов Западно-Сахалинских гор (Макаровский район, о. Сахалин) // Тихоокеанская геология. 1984. № 1. С. 99—103.
19. Сироткина О.Н., Фоменко И.К., Горобцов Д.Н. О классификации математических методов оценки локальной оползневой опасности // Сб. научн. тр. по мат-лам II междунар. научн. конф. «НАУКА РОССИИ: ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ». Т. 2. НИЦ Л-Журнал Екатеринбург, 2017. С. 50—55.
20. Фоменко И.К. Современные тенденции в расчетах устойчивости склонов // Инженерная геология. 2012. № 6. С. 44—53.
21. Фоменко И.К., Сироткина О.Н. Комплексная методика расчета устойчивости склонов // Сб. научн. тр. по мат-лам междунар. науч.-практич. конф. «Современные направления теоретических и прикладных исследований». 2011. Т. 31. С. 88—96.
22. Хуан Я.Х. Устойчивость земляных откосов. М.: Стройиздат, 1988. 240 с.
23. Шахуняц Г.М. Земляное полотно железных дорог. М., Трансжелдориздат, 1953.
24. Шахуняц Г.М. Земляное полотно железных дорог: Вопросы проектирования и расчета: Учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта М.: Трансжелдориздат, 1953. 828 с.

REFERENCES

1. Fomenko I.K., Gorobtsov D.N., Pendin V.V., Nikulina M.E. The reasons of landslides activation at sakhalin island (on the example of landslide exploration at the river lazovaya). In Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses: Proc. of the 2018 European Rock Mechanics Symposium. 2018. Vol. 1. P. 797—803.
2. Fredlund D.G., Fredlund M.D. Keynote Lecture: Developments in Landslide Analysis // In: Duc Long P., Dung N. (eds) Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development. Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Vol 62. Pp. 47—54. DOI: 10.1007/978-981-15-2184-3_101
3. Griffith D.V., Lane P.A. Slope stability analysis by finite elements. Geotechnique. 1999. Vol. 49. No. 3. P. 387—403.
4. Hearn G., Wise D., Hart Andrew B., O'Donnell N. Assessing the potential for future first-time slope failures to impact the oil and gas pipeline corridor through the Makarov Mountains, Sakhalin Island, Russia // Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology. 2012. Vol. 45. No. 1. P. 79—88.
5. Janbu N. Application of composite slip surface for stability analysis//Proceedings of the European Conference on Stability of Earth Slopes. Stockholm, Sweden. Balkema, Rotterdam. 1954. P. 43—49.
6. Krahn J. Stability modeling with SLOPE/W. An Engineering Methodology: First Edition, Revision 1. Calgary, Alberta: GEO-SLOPE International Ltd., 2004. 396 p.
7. Kulhawy F. Finite element analysis of the behavior of embankments. Ph.D., thesis, University of California, Berkeley, 1969.
8. Morgenstern N.R., Price V.E. The analysis of the stability of general slip surface // Geotechnique. 1965. Vol. 15. P. 70—93.
9. Babakhanov B.S. Determination of the magnitude of landslide pressure based on the analysis of the stress state of the soil massif: dissertation ... Candidate of technical sciences: 05.23.02. Volgograd, 2013. 175 p.
10. Bogomolov A.N., Kuznetsova S.V., Sinyakov V.N., Shubin M.A., Dyba V.P., Skibin G.M., Olyansky Yu.I., Bogomolova O.A., Ushakov A.N. Calculation of stability of slopes and design of anti-landslide structures. Internet Bulletin VolgGASU. Ser: Builds. Computer science. 2012. Iss. 8(24). Pp.1—21.
11. Bogomolov A.N. Calculation of the bearing capacity of the foundations of structures and the stability of soil massifs in the elastoplastic setting. Perm: Publishing house PPI, 1996. 150 p.
12. Ginzburg L.K. Recommendations for the choice of methods for calculating the slope stability coefficient and landslide pressure. Moscow: Central Bureau of Scientific and Technical Information, 1986. 134 p.
13. Ginzburg L.K. Anti-landslide holding structures Moscow, 1979.
14. ОДМ 218.2.006-2010 Recommendations for calculating the stability of landslide-prone slopes (slopes) and determining landslide pressures on engineering structures of highways. <http://gostrf.com/normadata/1/4293807/4293807223.pdf>
15. Pendin V.V., Fomenko I.K. Methodology of assessment and forecast of landslide hazard. Moscow: LENAND, 2015. 320 p.

16. Proposals for calculating the stability of slopes of high embankments and deep excavations. Moscow, 1966.
17. Sainov M.P. Influence of the stress state of a slope from a homogeneous soil on its stability. Vestnik MGSU. 2012 No. 12. P. 111—116.
18. Sergeev K.F. New data on the nature of the relationship between the strata of the Late Mesozoic and Cenozoic sediments of the eastern slopes of the West Sakhalin mountains (Makarovsky region, Sakhalin Island) // Tikhookeanskaya geologiya. 1984. No. 1. P. 99—103.
19. Sirotkina O.N., Fomenko I.K., Gorobtsov D.N. On the classification of mathematical methods for assessing local landslide hazard // Collection of scientific papers based on the materials of the II international scientific conference "SCIENCE OF RUSSIA: GOALS AND OBJECTIVES". 2017. T. 2. P. 50—55.
20. Fomenko I.K. Modern trends in the calculations of slope stability // Engineering Geology. 2012. No. 6. P. 44—53.
21. Fomenko I.K., Sirotkina O.N. Complex method of calculating the stability of slopes // Collection of scientific papers based on the materials of the international scientific-practical conference "Modern directions of theoretical and applied research". 2011. T. 31. P. 88—96.
22. Huang Ya.H. Stability of earthen slopes. Moscow: Stroyizdat, 1988. 240 p.
23. Shakhunyants G.M. Subgrade of railways. Moscow: Transzheldorizdat, 1953.
24. Shakhunyants G.M. Subgrade of railways: Issues of design and calculation: Textbook. manual for universities railway transport. Moscow: Transzheldorizdat, 1953. 828 p.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Горобцов Д.Н. — поставил цель и задачи исследования и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Фоменко И.К. — получил данные для анализа; проанализировал результаты исследования и подготовил данные и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Новгородова М.А. — участвовала в написании и редактировании текста статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Сироткина О.Н. — выполнила работы по систематизации материала, участвовала в написании и редактировании текста статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Denis N. Gorobtsov — sets the goal and objectives of the study and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Igor K. Fomenko — received data for analysis; reviewed the results of the study and prepared the data and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Margarita A. Novgorodova — participated in writing and editing the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Olga N. Sirotkina — performed work on the systematization of the material, participated in writing and editing the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Горобцов Денис Николаевич* — кандидат геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой инженерной геологии гидрогеологического факультета Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе. 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия тел.: +7 (925) 664-59-28
e-mail: dngorobtsov@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1232-6652>

Denis N. Gorobtsov* — Cand. Sci. (Geol.-Min.), head of Department of Engineering Geology, Faculty of Hydrogeology of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia tel.: +7 (925) 664-59-28
e-mail: dngorobtsov@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1232-6652>

Фоменко Игорь Константинович — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры инженерной геологии гидрогеологического факультета Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе.
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
тел.: +7 (495) 461-37-77, доб. 21-31
e-mail: fomenkoik@mgri.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2318-6015>

Новгородова Маргарита Алексеевна — преподаватель кафедры инженерной геологии гидрогеологического факультета Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе.
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
тел.: +7 (909) 639-17-27
e-mail: marga_97@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4629-1969>

Сироткина Ольга Николаевна — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник кафедры динамической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.
1, Ленинские горы, г. Москва 119991, Россия
тел.: +7 (495) 939-25-51
e-mail: onsirotkina@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8171-1960>

Igor K. Fomenko — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Prof., Department of Engineering Geology, Faculty of Hydrogeology of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
tel.: +7 (495) 461-37-77, ext. 21-31
e-mail: fomenkoik@mgri.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2318-6015>

Margarita A. Novgorodova — teacher Department of Engineering Geology, Faculty of Hydrogeology of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
tel.: +7 (909) 639-17-27
e-mail: marga_97@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4629-1969>

Olga N. Sirotkina — Cand. Sci. (Geol.-Min.), Senior Researcher, Department of Dynamic Geology, Faculty of Geology, Moscow State University.
1, Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia
tel.: +7 (495) 939-25-51
e-mail: onsirotkina@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8171-1960>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ОПОЛЗНИ И ПРОВАЛЫ В КАРСТОВОЙ СРЕДЕ В РАЙОНЕ РЕКИ УФЫ

Н.А. ОРЛОВА

ФГБУН «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук»
13, Уланский пер., г. Москва 101000, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В результате рекогносцировочных маршрутов и инженерно-геологических изысканий получены данные о характере развития экзогенных процессов на участке, примыкающем к г. Уфа. Этот регион хорошо изучен благодаря широкому развитию карста. Оползни получили меньшую распространенность, но их развитие часто связано с активизацией карста. Оползни, формирующиеся в провалах и понижениях в рельефе, широко развиты и в других регионах Российской Федерации.

Цель. Изучение особенности формирования оползней. Выполнение анализа последовательности механизма образования оползней, приуроченных к зонам разуплотнения горного массива.

Материалы и методы. В данном исследовании предложен механизм оползневых явлений в местах развития карста. Работа основана на анализе результатов предыдущих исследований в 1997, 2013 и 2017 гг., дешифрировании спутниковых снимков, цифровой модели рельефа и топографических, геоморфологических, инженерно-геологических карт, рекогносцировочных исследований. Особенность инженерно-геологических условий выбранной территории позволяет изучить формирование и развитие одновременно двух экзогенных процессов (карст и оползни).

Территория изучения: участок выезда из г. Уфа вдоль склонов рек Солотча и Уфа. На основе закона, установленного Бондарик, Пендин, Ярм в 2007 г.: «...одни геологические процессы, подготавливают другие, те, в свою очередь, — третьи и т.п. и вследствие этого развиваются так называемые каскадные процессы...» Рассмотрены экзогенные геологические процессы — карст и оползни, протекающие на одном участке геологического массива.

Результаты. Формирование полостей приурочено к тектонической трещиноватости, по которой поверхностные и подземные воды протекают вглубь горного массива. Со временем происходит изменение гидродинамической зональности, вынос заполнителя и освобождение ранее сформировавшихся трещин, полостей и пустот. Деформация массива над полостью не происходит до тех пор, пока сохраняется вертикальное давление в грунтах и несущая способность слоя.

В результате представлена на рассмотрение последовательность протекания процессов, выдвинуто предположение, что трещина бортового отпора деформирует поверхность склона после сформированного блока на глубине.

Заключение. Показано, что при формировании карстовых провалов происходит активизация оползневых процессов на поверхности склона.

Ключевые слова: провал, воронка, карст, оползни, поверхность скольжения, мониторинг

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Благодарности: автор благодарит Г.П. Постоева, М.В. Леоненко, В.П. Хоменко.

Для цитирования: Орлова Н.А. Оползни и провалы в карстовой среде в районе реки Уфы. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(3):85—93.
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-85-93>

Статья поступила в редакцию 15.07.2022
Принята к публикации 08.09.2022
Опубликована 17.10.2022

LANDSLIDES AND SINKHOLES OF THE KARST ENVIRONMENT IN THE VICINITY OF THE UFA RIVER

NADEZHDA A. ORLOVA

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience of RAS
13/2 Ulansky lane, Moscow 101000, Russia*

ABSTRACT

Introduction. As a result of the conducted route reconnaissance and geological engineering surveys, data about the development pattern of exogenous processes at a site adjoining the city of Ufa were obtained. This region is well studied due to the extensively developed karst. Although landslides are less prevalent here, their development is frequently connected with the karst intensification. Landslides, formed in sites of sinkholes and topographic lowering, are well represented in other regions of the Russian Federation.

Aim. To study the characteristics of landslide formation. In addition, the mechanism of forming landslides, confined to rock massif decompaction zones, is analysed.

Materials and methods. A mechanism of landslide formation in the sites of karst development is proposed. The work is based on the analysis of the results obtained in previous researchers of 1997, 2013 and 2017, interpretation of satellite images, digital terrain model and topographic, geomorphological and engineering-geological maps, as well as reconnaissance surveys. The peculiarity of engineering-geological conditions makes it possible to study the formation and development of two exogenous processes simultaneously (karst and landslides) in the selected area.

The area under study included the exit section of Ufa city along the slopes of the Solotchi and Ufa rivers. According to the law established by Bondarik, Pendin and Yarg in 2007, "...some geological processes prepare others, which, in turn prepare the next ones, etc. and, as a result, so-called cascade processes develop...". Exogenous geological processes of karst and landslides, developing in one section of the geological massif, are considered.

Results. The formation of cavities is confined to the tectonic fracturing, along whose surface underground waters flow into the depths of the rock massif. The hydrodynamic zonation varies in time with the subtraction of a filler and a release of previously formed cracks, cavities and voids. As long as the vertical pressure in soils and layer bearing capacity remain stable, no deformation of the massif above the cavity is observed. As a result of the study, the process sequence was presented for consideration, as well as the assumption was made about the lateral repulse crack deforming the slope surface after the formation of a block at the depth.

Conclusion. The formation of karst sinkholes was demonstrated to intensify landslide processes on the slope surface.

Keywords: sinkhole, funnel, karst, landslides, slip surface, monitoring

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

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

Acknowledgments: the author is grateful to G.P. Postoev, M.V. Leonenko, V.P. Homenko.

For citation: Orlova N.A. Landslides and sinkholes of the karst environment in the vicinity of the Ufa river. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(3):85—93. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-85-93>

Manuscript received 15 July 2022

Accepted 08 September 2022

Published 17 October 2022

Рассматриваемый в статье участок примыкает к границе Октябрьского и Советского районов (рис. 1), протягивается через реку Уфу и переходит в Кировский район, заканчиваясь трассой М-5. В результате рекогносцировочных и многолетних наблюдений [6, 7] установлено, что вдоль береговой линии рек Уфа и Солотча образуются оползни различной протяженности. Данные оползни нередко приурочены к местам формирования карстовых провалов. В целом для территории г. Уфа средний коэффициент закарстованности равен 0,002—0,003 (3,3 воронки на 1 км²), тем не менее на склонах он достигает 0,006—0,007, а на междуречье не превышает 0,0005. Поверхностные карстопроявления представлены главным образом воронками, часто провального генезиса. Диаметр их 10—90 м, иногда достигает 200 м, глубина от 5 до 40 м. В г. Уфа и окрестностях установлено 63 карстовых поля, в пределах которых плотность воронок от 10—20 до 100 на 1 км² и редко более. В пределах города и пригорода выявлено 27 карстовых полей.

Карбонатный и сульфатно-карбонатный карст связан с толщей шешминского и соликамского горизонтов, где карстующимися породами являются глина известковистая, мергели выветрелые, прослои сильнотрещиноватых известняков, в нижней части толща, как правило, загипсована.

Сульфатный карст приурочен к отдельным зонам и очагам, связанным с трещиноватостью, развит в кунгурском ярусе.

В процессе обрушения грунта в образующуюся полость и в случае формирования провала на поверхности на склоне начинает формироваться трещина закола. Подобные провалы подробно описаны в горном деле, их появление отмечают в бортах карьеров и откосах отвалов различные исследователи [2, 3, 9]. Дальнейшая активизация носит катастрофический характер, происходит образование одновременно двух процессов — карста и оползней.

Результаты и обсуждение

Геологическое строение исследуемого участка до глубины, способной повлиять на активизацию экзогенных процессов, представлено в основном четвертичной, неогеновой и пермской системами. Четвертичные отложения слагают долины рек и ручьев, тальвегов оврагов аллювиальными, делювиальными и пролювиальными образованиями, перекрыты техногенными и биогенными отложениями.

Неогеновая система представлена осадками кинельской свиты, сложена плотной серой глиной. Состав глин преимущественно монтмориллонитовый, содержит каолинит, гидрослюда, включения



Рис. 1. Положение площадки изысканий
Fig. 1. Survey site position

зерен кварца, полевого шпата, кальцита. По подшоше акчагыльского яруса встречены водоносные прослои, оказывающие влияние на консистенцию глин.

Пермская система в основном сложена породами уфимского яруса, состоящими из суглинков известковистых, известняков, доломитов и гипсов.

Гидрогеологические условия характеризуются наличием трех водоносных горизонтов и комплексов: водоносный горизонт делювиальных (спорадически развитых), четвертичных, пермских уфимских отложений и кунгурского яруса. Состав вод: гидрокарбонатно-сульфатные кальциево-магние-вые, сульфатно-гидрокарбонатные кальциево-натриево-магние-вые с минерализацией 0,4—0,6 г/л. В разные годы отмечалось разное положение уровня подземных вод, наблюдения проводились

с 1991 года и показали максимально высокий уровень — 27 м, в 2012 году отмечалось значительное понижение на 11 м, в 2017 году уровень подземных вод в уфимском ярусе пермской системы вновь поднялся и зафиксирован на глубине 30,2 м.

Особенностью структурно-тектонических условий территории, оказывающей влияние на поверхностные процессы, является грабенообразная Сутолокская синклиналь, пространственно совпадающая с Аскаро-Черкасским прогибом, к восточному блоку которого примыкают тектонические «валы». Проявления неотектонических и экзотектонических нарушений пространственно и генетически связаны с заложением и развитием эрозионно-карстовых оврагов (рис. 3). Выявленные на космоснимках и при рекогносцировке древние карстовые провалы приурочены один

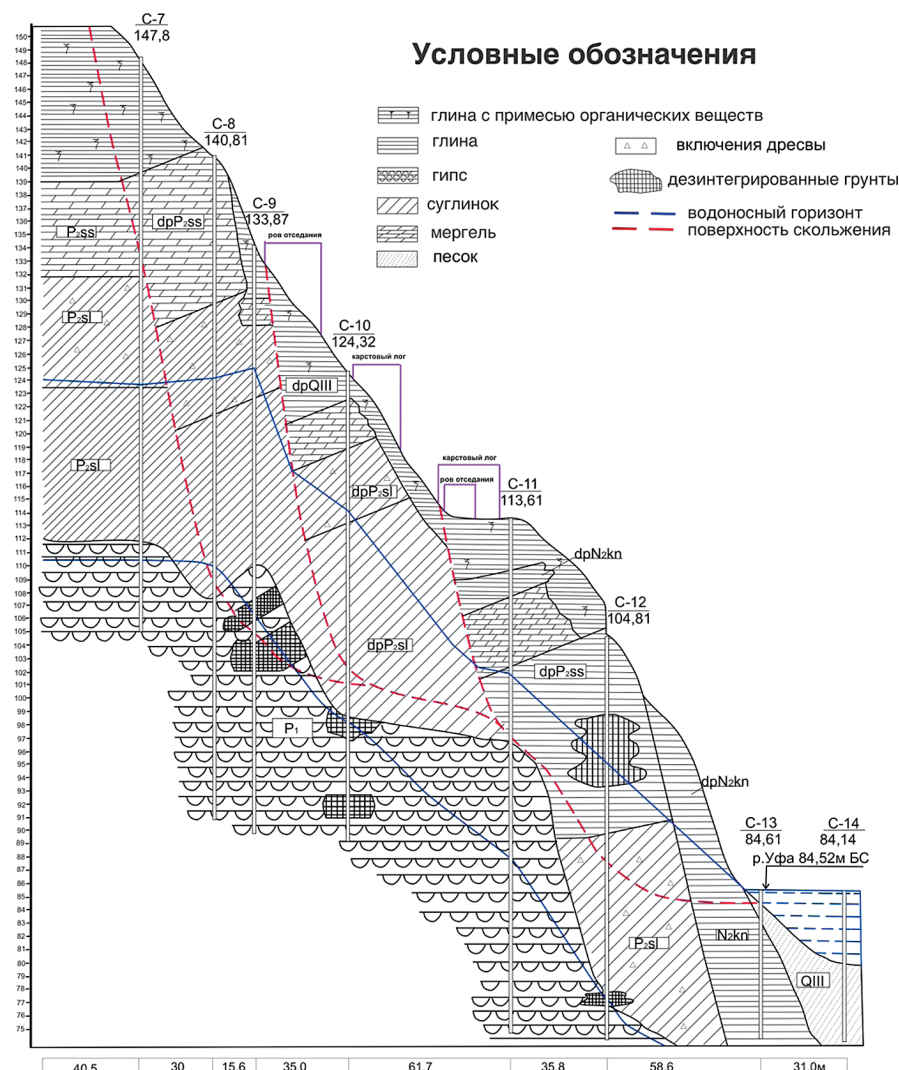


Рис. 2. Схематический разрез в районе распространения карста и оползней
Fig. 2. Schematic section in the area of karst and landslides

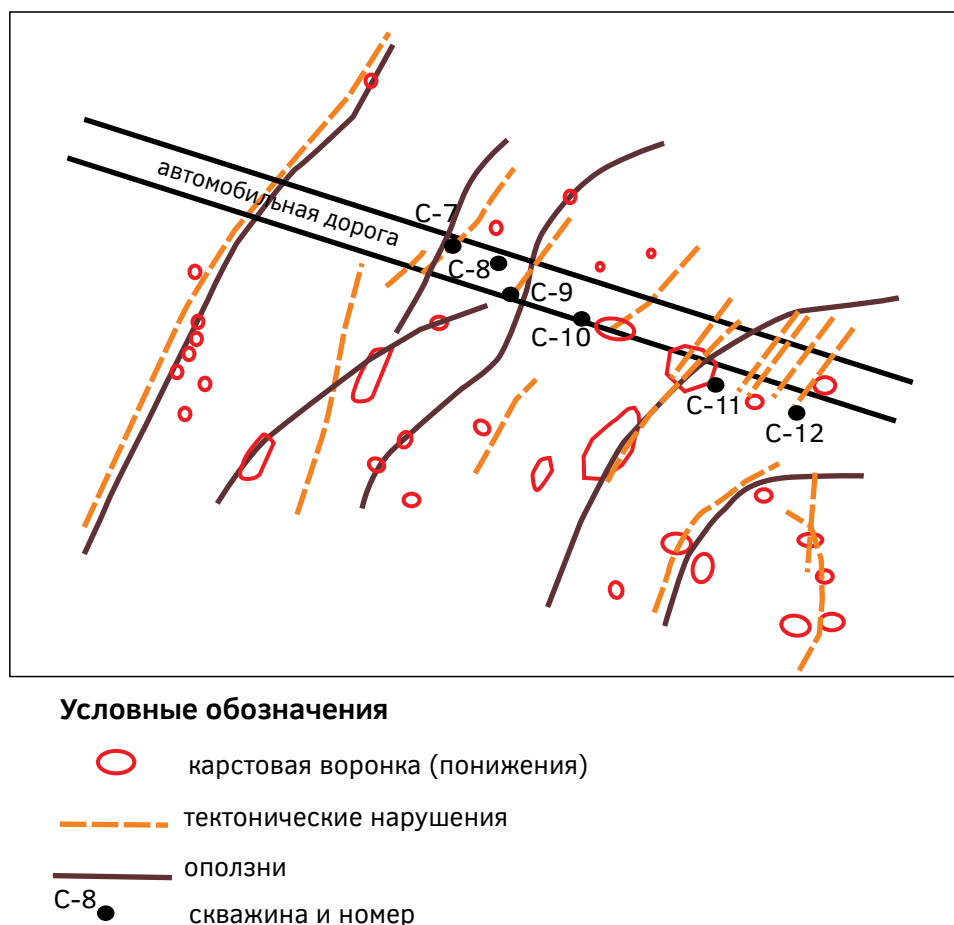


Рис. 3. Приуроченность карстовых воронок, оползней к тектоническим нарушениям на участке исследуемой площадки

Fig. 3. Karst funnels, landslides are associated with tectonic disturbances in the area of the study site

к водоразделам рр. Уфа и Сутолока и системе оперяющих трещин (разломов) Аскарово-Черкасского прогиба, контролирующего грабенообразную Сутолокскую синклиналь, другой приурочен к региональному разлому.

В зависимости от рельефа и мощности перекрывающих отложений (менее 40 м) на речных террасах рек Уфа и Сутолока могут быть распространены карстовые формы рельефа и проявлять активность провалообразования [5]. Данные рекогносцировочных исследований подтверждают наличие понижений в рельефе: диаметр от 4 до 94 м, глубина от 0,3 до 2,4 м, в основном округлой, дугообразно-эллипсовидной формы. При проведении буровых работ в районе провалов выявлено, что породы сильно дислоцированы, встречены карстовые брекчии, залегающие согласно в толще мергеля и суглинка.

Карст на рассматриваемой территории главным образом связан с кунгурскими гипсами и гипсо-

носными породами соликамского и шешминского горизонтов и, в значительно меньшей степени, с карбонатными соликамскими и шешминскими породами. Согласно схеме типизации карста Башкортостана, в пределах г. Уфа развиты три класса карста: сульфатный, карбонатный и карбонатно-сульфатный. По степени защищенности сверху некарстующимися породами преобладают два подкласса — перекрытый (камский) в пределах долин рек Белой и Уфы и закрытый (русский) на междуречье. Наряду с закрытым на междуречье имеются участки перекрытого, покрытого и голого карста. Структурно-тектоническое положение кровли карстующихся пород является одним из основных факторов, определяющих неравномерное развитие карста на междуречье. В процессе проведения работ выявлено, что современный рельеф в пределах междуречья во многом был предопределен рельефом кровли гипсов.

Установлено [1], что предел прочности на одноосное сжатие (σ_{str}) таких пород, как гипс, составляет 14—70 МПа. Мощность покровной толщи над выявленными в процессе буровых и геофизических работ подземными полостями в карстующихся породах региона, не превышает 100 м. Деформация массива над полостью не происходит до тех пор, пока сохраняется вертикальное давление в грунтах и несущая способность слоя. Среднее значение удельного веса преимущественно песчано-глинистых грунтов $\gamma = 28 \text{ кН/м}^3$ [5], возможное значение давления покровной толщи порядка 2,8 МПа. Структурная прочность перекрывающих пород в несколько раз больше вертикального давления, в связи с чем в нем невозможны пластические деформации, что позволяет в течение некоторого времени сохранять стабильное состояние вышележащим четвертичным и неогеновым отложениям. Разрушительные деформации не происходят до тех пор, пока растягивающие напряжения цилиндра (или перевернутого конуса) над сводом и сжимающие напряжения самого свода на глубине Z (см. рис. 4) находятся в равновесии. Только с ростом воронки начинается деформация грунта в сторону полости, ниже по склону возникают зоны повышенных вертикальных и касательных напряжений с последующим формированием трещин закола на поверхности.

Очаги и своды над подземными полостями — эта такая неравновесная открытая система в поле напряжений прилегающего к склону коренного массива под влиянием оползневой процесса, которая расположена между дневной поверхностью и горизонтом базиса оползания. Потеря устойчивости происходит по мере роста «окна полости» и постепенного снижения горизонтальных напряжений по радиальным силовым линиям, на поверхности они проявляются часто в виде трещин закола и родников, наблюдаемых в крыльях оползневых тел, в связи с тем что в центральной части блока грунты действуют как клин по отношению к коренному массиву.

Подобные случаи известны в практике довольно хорошо: так, формирование оползня в г. Баку вызвано выемкой грунта на глубину 10 м для строительства гостиницы, в г. Железнодорожном — котлованом глубиной 2 м.

Характерные проявления оползневых процессов на склонах вдоль берега реки Уфы: фронтальный характер тела, изогнутость береговой линии, ступенчатая форма рельефа, оползневые бугры ниже по склону, родники, в массиве — волнистый характер залегания кровли гипсов и мергелей, наличие дезинтегрированных грунтов.

Можно выделить оползни следующих типов на правобережном склоне:

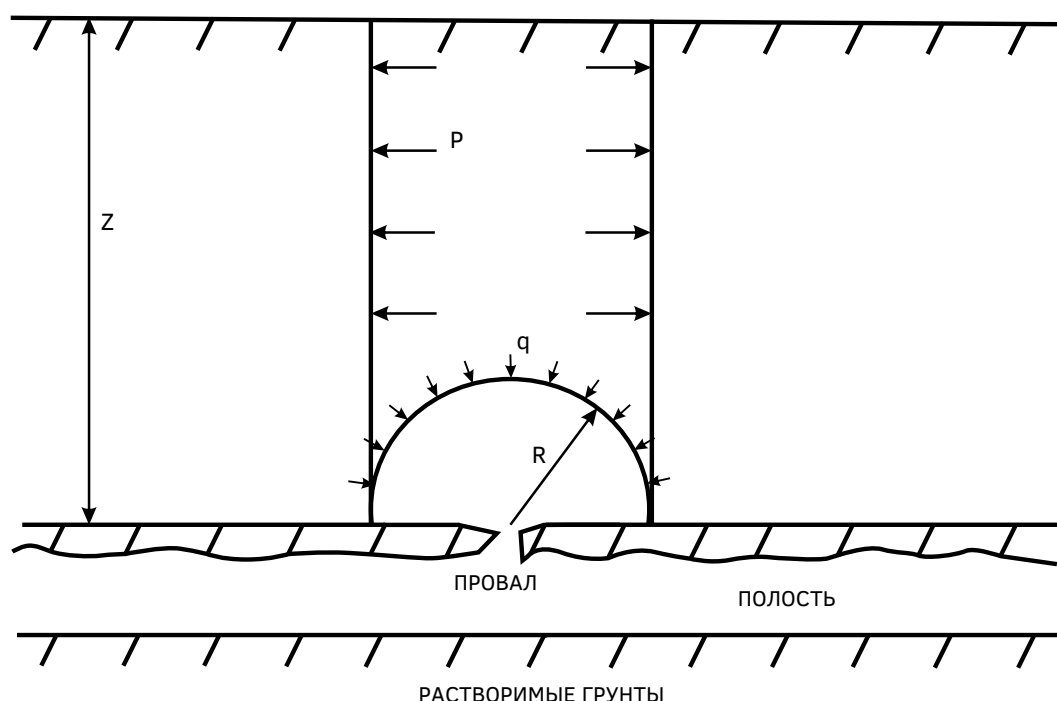


Рис. 4. Схема распределения напряжений над полостью
Fig. 4. Scheme of stress distribution over the cavity

1) глубокие оползни, захватывающие всю толщу четвертичных и неогеновых отложений, а также подстилающие их суглинки пермской системы;

2) оползни, ограничивающиеся породами, залегающими выше глин, относящихся к неогеновой системе;

3) поверхностные оползни, захватывающие только четвертичную систему.

Рассмотрим глубокие оползни, приуроченные, по нашему мнению, к провалообразованию карстующихся пород (см. рис. 2), которые связываются с развитием блокового оползня типа сжатия-выдавливания.

Оползневой блок имеет цилиндрический вид; по результатам бурения, выполненного в 2017 году, имеет наклон к реке или запрокинутую к плато поверхность. При потере устойчивости в понижениях происходит выпор в их сторону, при этом, с одной стороны, гипсы, скорее всего, контролируют поверхность скольжения (рис. 2), нагружая известковистые суглинки, с другой — в случае чрезмерной нагрузки захватывает их оползневыми деформациями. Анализ, выполненный благодаря расчетам устойчивости методом «Откос» вычислительного комплекса «SCAD Office», представлен на рисунке 5, он подтверждает данную гипотезу. В основе алгоритма расчета, реализованного в программе «Откос», лежит методика, предложенная В.Г. Федоровским и С.В. Курилло и основанная на методе переменной степени мобилизации сопротивления сдвигу.

Следует отметить, что основная причина образования оползней вдоль берегов реки

Уфы — возрастание касательных напряжений в пермских суглинках при уменьшении ширины оползневой террасы вследствие разуплотнения пород в зоне склона, сопровождающихся уменьшением их прочности, вызванного провалом, а также достаточно крутым углом наклона склона ($27\text{--}40^\circ$). Вертикальное давление грунта на глубине Z_i можно определить для блока следующим образом: $\sigma_{1i} = \gamma Z_i$.

Наличие водоносного горизонта в пермских отложениях оказывает влияние на состояние склона в связи с постоянной разгрузкой и выдвиганием оползневых накоплений в сторону реки (выносом деляпися в реку). Не исключено, что развитие оползней происходит одновременно по двум механизмам в разных участках склона: вязкопластичное течение вниз, хрупкое разрушение на участке отделения от плато, вызванное провалом.

Оползни данного типа смещаются по круговой, волнисто-наклонной или наклонной поверхности (рис. 2). В случае кругового вращения на оползневом склоне сторону впадины в пермских отложениях, обращенную к реке, можно рассматривать как нижнюю часть поверхности скольжения оползшего блока, сторону, обращенную к плато, — как запрокинутый блок. Поверхность скольжения ранее смещенных блоков (в оползневом очаге) регламентирует расположение нижней границы базиса в коренном массиве.

При условии развития карстовых процессов в массиве склона возникает несимметричное напряженное состояние массива [8].

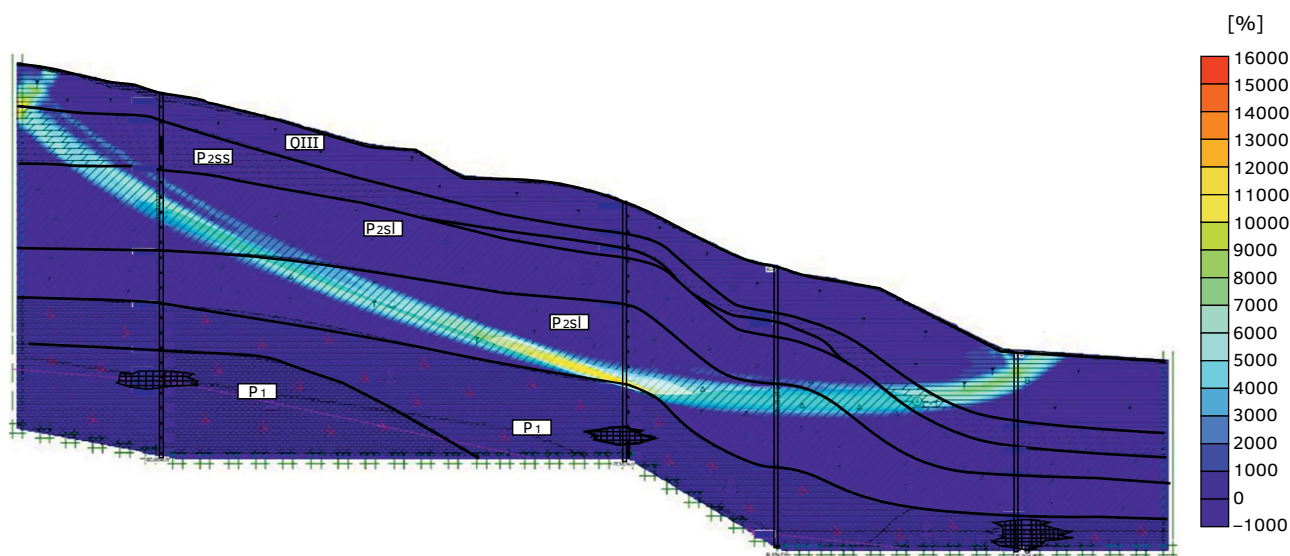


Рис. 5. Расчет устойчивости участка склона

Fig. 5. Slope section stability calculation

Наличие тектонических трещин, зон выветривания представляет собой результат растяжения или сжатия, порой они встречены в виде отрезков и разделяют массив на блоки.

В результате наблюдений на оползневых участках Москвы (на примере схода оползневого блока в 2006 году на участке Хорошево-1) и Одессы [4] установлено, что спустя четыре месяца после образования трещины закола происходит отделение блока от плато. Общим для рассмотренных в статье и приведенных в качестве примера оползней является наличие карстующихся пород на склоне, неровного «жесткого» основания, подстилающих глины, теряющие свое пластичное состояние.

Процессы смещения оползневых тел по поверхности правобережного склона, сопровождаемые развитием поверхностных форм карста и выщелачиванием гипсов в глубине массива, происходят в режиме длительной стадии подготовки к основному смещению. Для определения времени от стадии образования провала на поверхности до формирования тела оползня необходимо проведение длительного мониторинга за данными процессами.

Заключение

Последовательность оползнеобразования можно рассмотреть в следующем порядке:

- изменение гидродинамического напряжения внутри склона (береговая эрозия, сезонное

изменение уровня в реке и водоносном горизонте) оказывает воздействие на растворимость гипсов;

- в процессе провалообразования полость на глубине заполняется дезинтегрированными грунтами, как правило, подошва их залегает ниже уреза реки Уфы;

- формирование трещины закола на поверхности позволяет сделать вывод, что поле напряжений в массиве перестраивается: возникновение подобного силового воздействия сопровождается участком с разрывом, который сливается в единую поверхность скольжения, подготавливая к смещению весь массив;

- оторвавшийся массив перемещается по криволинейной поверхности скольжения, имеющей основной наклон в сторону реки нижней частью по направлению к реке, одновременно опускаясь и запрокидывая верхнюю часть к плато;

- суглинки пермских отложений, подстилающие глины неогена, выпираются под влиянием вышележащих слоев грунта в сторону реки, создавая прогиб мергелей и в дальнейшем формируя их разрыв;

- выдавливание происходит у подножия склона и подвергается одновременно сжатию массы, что приводит к формированию двух и более валов выдавливания, наблюдаемых на склоне;

- массив является нагрузкой на призму сопротивления выпиранию суглинков из-под мергелей, необходимо устанавливать положение его, при котором начинается новое выпирание суглинков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алванян А.К., Ибламинов Р.Г., Коноплев А.В. Физико-механические свойства гипсового камня и инженерно-геологические условия Богомоловского месторождения // Научный журнал КубГАУ. 2012. № 83(09). С. 168—177.
2. Дёмин А.М. Оползни в карьерах: анализ и прогноз. М.: ГЕОС, 2009. 79 с.
3. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Л.: ВНИМИ, 1971. 188 с.
4. Науменко П.Н. Закономерности развития и механизм катастрофических оползневых смещений на Одесском побережье / Вопросы изучения оползней и факторов, их вызывающих. Труды ВСЕГИНГЕО. 1968. Вып. 8. С. 42—59.
5. Постоев Г.П., Кучуков М.М., Казеев А.И. Физические законы распределения давления в геологической среде // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2020. № 6. С. 22—31.
6. Смирнов А.И. Аномально крупные карстовые провалы Южного Урала и Предуралья // Геологический сборник. ИГ УНЦ РАН. 2013. № 10. С. 50—56.
7. Строительство автомобильного тоннеля в створе мостового перехода через р. Уфу, г. Уфа, РБ. Т. II. Кн. 2. Отчет об инженерно-геологических изысканиях (промежуточные материалы). III этап. Комплексные инженерно-геологические изыскания. Заказ № 045 к т/22261. Техархив ЗАО «ЗапУралТИСИЗ», 2013.
8. Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. ГЕОС. М., 2003.
9. Martinotti M. Landslides, floods and sinkholes in a karst environment: the 1—6 September 2014. Gargano event, southern Italy. Natural Hazards and Earth System Sciences. 2017. No. 17. P. 467—480.

REFERENCE

1. Alvanyan A.K., Iblaminov R.G., Konoplev A.V. Physical and mechanical properties of gypsum stone and engineering-geological conditions of Bogomolovsky deposits // Scientific journal of KubSAU. 2012. No. 83(09). P. 168—177.
2. Demin A.M. Landslides in quarries: analysis and forecast. Moscow: GEOS, 2009. 79 p.
3. Instructions for monitoring the deformations of the sides, slopes of ledges and dumps in open pits and developing measures to ensure their stability. Leningrad: VNIMI, 1971. 188 p.
4. Naumenko P.N. Patterns of development and the mechanism of catastrophic landslide displacements on the Odessa coast / Issues of studying landslides and factors causing them. Proceedings of VSEGINGEO. 1968. Iss. 8. P. 42—59.
5. Postoev G.P., Kuchukov M.M., Kazeev A.I. Physical laws of pressure distribution in the geological environment // Geoecology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology. 2020. No. 6. P. 22—31. DOI: 10.31857/S0869780920060107
6. Smirnov A.I. Abnormally large karst swells of the Southern Urals and Cis-Urals // Geological collection nickname. IG USC RAS. 2013. No. 10 P. 50—56.
7. Construction of a road tunnel in the alignment of the bridge over the river Ufa, city Ufa. Vol. II. Book 2. Report on engineering and geological surveys (intermediate materials). III stage. Complex engineering-geological surveys. Order No. 045 to t/22261. Technical archive ZapUralTISIZ, 2013.
8. Khomenko V.P. Regularities and forecast of suffusion processes. Moscow: GEOS, 2003.
9. Martinotti M. Landslides, floods and sinkholes in a karst environment: the 1—6 September 2014. Gargano event, southern Italy. Natural Hazards and Earth System Sciences. 2017. No. 17. P. 467—480.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Орлова Н.А. — подготовила статью к публикации, начертила графику.

Nadezhda A. Orlova — prepared an article for publication, drew graphics.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Орлова Надежда Александровна — аспирант, младший научный сотрудник ФГБУН «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук»
13, Уланский пер., г. Москва 101000, Россия
e-mail: iderlit@mail.ru
тел.: +7 (926) 603-09-46
SPIN-код: 3498-1866
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4882-7990>

Nadezhda A. Orlova — post-graduate researcher, junior researcher Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS
13/2 Ulansky str., Moscow 101000, Russia
e-mail: iderlit@mail.ru
tel.: +7 (926) 603-09-46
SPIN-code: 3498-1866
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4882-7990>



О КНИГЕ «ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ»

В.Н. КОМАРОВ*, С.А. САМОХВАЛОВ

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

АННОТАЦИЯ

В учебном пособии¹ рассматриваются основы генетического анализа терригенных и сопутствующих им отложений. Приводится схема классификации генетических типов, подгрупп, групп и надгрупп этих отложений. Согласно предложенной схеме последовательно описываются континентальные, переходные, морские и смешанные генетические типы с приведением комплекса седиментационных признаков, позволяющих диагностировать генетический тип, его латеральные и вертикальные переходы в другие генетические типы. Указываются форма и размеры современных аккумулятивных тел, формируемых генетическими типами отложений и их ископаемых аналогов.

Ключевые слова: фация, генетический анализ, терригенные отложения, седиментационные признаки

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Комаров В.Н., Самохвалов С.А. О книге «Генетический анализ терригенных отложений». *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(3):94—98. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-94-98>

Статья поступила в редакцию 30.01.2022

Принята к публикации 28.09.2022

Опубликована 17.10.2022

* Автор, ответственный за переписку

ON THE TEXTBOOK "GENETIC ANALYSIS OF TERRIGENOUS DEPOSITS"

VLADIMIR N. KOMAROV*, SERGEY A. SAMOKHVALOV

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

ABSTRACT

The textbook² under review considers the fundamentals of the genetic analysis of terrigenous and associated sediments. A classification scheme of the genetic types, subgroups, groups, and supergroups of these deposits is provided. According to the proposed scheme, continental, transitional,

¹ Агафонова Г.В., Рахимова Е.В., Ермолова Т.Е. Генетический анализ терригенных отложений. М.: МГРИ, 2021. 172 с.

² Agafonova G.V., Rakhimova E.V., Ermolova T.E. *Geneticheskij analiz terrigennyh otlozhenij* [Genetic analysis of terrigenous deposits]. Moscow: MGRI, 2021. 172 p. (In Russian).

marine, and mixed genetic types are sequentially described. A set of sedimentation features that allow for identification of the genetic type, its lateral and vertical transitions to other genetic types, is introduced. The form and size of modern accumulative bodies formed by genetic types of deposits and their fossil analogues are indicated.

Keywords: facies, genetic analysis, terrigenous deposits, sedimentation features

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

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

For citation: Komarov V.N., Samokhvalov S.A. On the textbook “Genetic analysis of terrigenous deposits”. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(3):94—98. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-3-94-98>

Manuscript received 30 January 2022

Accepted 28 September 2022

Published 17 October 2022

* Corresponding author

Рецензируемое учебное пособие включает предисловие и пять глав. Список литературы насчитывает 146 наименований.

В предисловии авторы отметили, что понятия «осадочная порода», «осадок», «структура», «текстура», «генезис», «литологический тип», «генетический тип отложений», «генетический анализ», «фация», «фациальный анализ» являются той основой знаний, без которой невозможна успешная геологическая деятельность не только молодых специалистов-литологов и седиментологов, но и геологов широкого профиля. В последние два десятилетия в большинстве учебных изданий понятие генетического типа отложений почти не используется. В лучшем случае оно только упоминается и кратко комментируется. Такое вытеснение важнейшего геологического понятия и подвигло авторов к созданию данной работы. Генетический тип конкретных отложений является продуктом мобилизации, переноса, отложения и захоронения осадочного вещества. Генетические признаки этих процессов, зафиксированные в осадках и породах, позволяют воссоздавать обстановки их накопления, а значит, и использовать для прогнозов любого направления. Особую актуальность приобретают генетические типы, характеризующиеся либо коллекторскими свойствами, либо свойствами, делающими их флюидоупорами. При создании работы широко использовались опубликованные материалы, а также оригинальный фактический материал, полученный авторами при изучении разрезов Тимано-Печёрской, Волго-Уральской, Западно-Сибирской и Лено-Тунгусской нефтегазоносных провинций.



В первой главе подробно рассмотрена сущность генетического и фациального анализов и их использование в седиментологическом моделировании. Авторы обращают внимание на то, что за любой осадочной породой или комплексом

осадочных пород стоят физико-географические условия, а признаки пород, литологические, палеонтологические и любые другие, отражают эти условия. Далеко не всегда связь между признаками породы и условиями ее образования оказывается понятной. Такое положение определяется как объективными, так и субъективными причинами. К первым относится конвергентность признаков, то есть их схожесть, при которой породы с одинаковыми вещественными и структурно-текстурными признаками формировались в разных физико-географических обстановках. Ко вторым — методические ошибки при проведении генетического и фациального анализов, связанные с субъективностью выводов исследователя, зависящих от его профессионализма. Подмена фактических объективных признаков истолкованными, как правило, генетическими. Геолог изучает породы и сложенные ими геологические тела, а прошлые обстановки осадконакопления восстанавливает, опираясь на геологический, геофизический, геохимический и любой другой материал.

Авторы придерживаются изначального, предложенного А. Грессли термина и под фацией понимают отложения или группу отложений с определенными литологическими и палеонтологическими признаками, характерными для данной обстановки осадконакопления и отличающимися от соседних разновозрастных отложений. Фациальный и генетический анализы, сочетаясь и взаимодополняя друг друга, составляют основу методики литологических исследований.

Задача фациального анализа — восстановление географии прошлых эпох. Фациальный анализ основывается на изучении и выделении фаций. По результатам фациального анализа составляются фациальные и палеогеографические карты и профили. Задача генетического анализа — определение способа образования отложений и воссоздание обстановки их накопления. Генетический анализ опирается на генетические признаки процессов формирования осадка. Необходимо помнить, что из всего набора генетических признаков один отдельно взятый признак не дает возможности решить вопрос о происхождении однозначно. И только комплекс признаков в их определенном сочетании и последовательности позволяет установить генетический тип отложений, то есть способ образования геологического тела.

Предложенная авторами классификация генетических типов отложений опирается на классификацию В.Т. Фролова (1995 г.). Наиболее крупные подразделения схемы — надгруппы — выделяются

по крупным физико-географическим элементам (континентальная, переходная, морская). Надгруппы включают группы, выделяемые в основном по более мелким элементам в пределах крупных элементов (склоновая, аллювиальная, озерная, болотная и др.). Группы объединяют подгруппы с еще более мелкими физико-географическими обстановками, в пределах которых реализуются определенные процессы: волновые, течениевые, тиховодные и др. Подгруппы включают генетические типы, являющиеся наиболее мелкой единицей в приведенной схеме и связанные как с процессами их образования, так и с местом образования.

Типизация признаков генетического типа предваряется в учебном пособии описанием процесса его образования, условий, необходимых для реализации этого процесса, и географического места, где процесс осуществляется. В признаки генетического типа включаются структуры литологических типов, входящих в генетический тип, текстуры, особенности вещественного состава, латеральные и вертикальные переходы генетического типа, форма и размеры геологического тела, сложенного генетическим типом, его мощность. Кроме того, авторами приводятся многочисленные примеры современных отложений и их древние аналоги, а также полезные ископаемые, связанные с данным генетическим типом.

Для того чтобы перейти от конкретных типов пород к генетическим типам, необходимо восстановить их положение в пространстве на основе изучения морфологии, ориентировки слагаемых ими осадочных тел, их взаимоотношений с вмещающими породами. Особое значение имеет установление палеотектонической и палеоструктурной приуроченности изучаемых объектов. Методы выявления пространственных границ генетических типов древних отложений могут быть различными в зависимости от задач, масштаба исследований и степени изученности территории. Наиболее эффективные технологии, как правило, основаны на данных бурения и сейсморазведки. В результате исследований создаются модели, которые на данном этапе изученности геологических объектов разного ранга отражают наши представления об их строении, генезисе, морфологии, коллекторских свойствах и других характеристиках, имеющих решающее значение для прогноза полезных ископаемых, в том числе нефтегазоносности.

В нефтегазовой геологии целью картирования генетических типов отложений является научно обоснованный прогноз коллекторских свойств,

выявление и локализация зон коллекторов с наиболее высокими фильтрационно-емкостными свойствами и зон отсутствия или замещения коллекторов, что имеет большое значение как для поиска новых залежей, так и для оптимизации процесса промышленного освоения месторождений. Основой большинства технологий, направленных на выявление и картирование разных генетических типов отложений, является установление взаимосвязи между данными о генезисе отложений, полученными в результате изучения кернового материала. И различные характеристики геологических объектов, определяемые визуально или в виде тех или иных параметров из данных обработки материалов ГИС и сейсморазведки.

В пособии приведены примеры интерпретации данных сейсморазведки с выделением так называемых сейсмических фаций. Привлечение к генетическому анализу данных сейсморазведки решает задачу локализации в пространстве отложений разных генетических типов, детального изучения морфологии геологических тел, последовательности смены типов отложений. Использование карт типов разреза (седиментационных зон или генетических типов отложений) является надежной основой для корректного прогноза зон коллекторов с улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами, латеральных флюидоупоров и экранирующих свойств покрышек.

Содержание второй главы отражает современные представления о надгруппе континентальных отложений. Последовательно охарактеризованы шесть генетических групп: склоновая (подгруппы обрушения, оползания, делювиальная), пролювиальная (подгруппа пролювиальных отложений), аллювиальная (подгруппы аллювиальная равнинная и аллювиальная горная), озерная (подгруппы кластогенная, хемогенная, биогенная, смешанная), болотная (подгруппа болотных отложений) и эоловая (подгруппа собственно эоловых отложений).

Приведены подробные сведения о седиментационных признаках, позволяющих диагностировать генетические типы, проанализированы латеральные и вертикальные переходы в другие генетические типы, указываются форма и размеры современных аккумулятивных тел, формируемых генетическими типами отложений и их ископаемых аналогов. Дана оценка полезных ископаемых, связанных с теми или иными генетическими типами отложений.

В третьей, самой крупной (48 стр.) главе, описаны переходные отложения. Данная надгруппа включает отложения дельтовой (подгруппы

субаэральная, субаквальная) и прибрежно-морской (подгруппы волновая, течениевая, тиховодная) групп.

Особенностям морских отложений посвящена четвертая глава. Приведена информация об отложениях трех генетических групп: шельфовой (подгруппы тиховодная нефелоидная и течениевая), подводной склоновой (подгруппы обрушения, высокоплотностных потоков, низкоплотностных потоков, контуритовая) и пелагической (подгруппа собственно пелагических отложений).

В главе «Надгруппа — смешанные отложения» обобщены данные о двух генетических группах: элювиальной (подгруппы физическая, биоэлювиальная, хемоэлювиальная, гальмиролитовая) и ледниковой (подгруппы ортогляциальная, парагляциальная и мариногляциальная).

В конце пособия имеется очень полезный для читателей терминологический словарь.

Следует отметить, что генетическому анализу терригенных отложений посвящено большое количество литературы, однако появление рассмотренной книги, подготовленной на самом современном уровне, можно считать актуальным.

Знакомство с рецензируемым учебным пособием оставляет самое хорошее впечатление. На наш взгляд, из-за высокого спроса у читателей оно может стать библиографической редкостью и потребует нового тиража. Книга подготовлена под научной редакцией доктора геолого-минералогических наук, профессора, академика РАН, заведующего кафедрой геологии и разведки месторождений углеводородов МГРИ имени Серго Орджоникидзе, заслуженного геолога РФ В.Ю. Керимова. Исчерпывающее знание предмета, большой профессиональный опыт педагогической и геологической работы, уважение к своему делу позволили авторам создать предельно четко структурированный, лаконичный по форме изложения и емкий по содержанию труд, в котором доступно изложен важнейший методический и справочный материал. Он позволяет с успехом решить главную стоявшую перед авторами задачу: научить описывать признаки терригенных пород и давать их генетическую трактовку.

Отдельно хотелось бы отметить отличное полиграфическое качество издания. Приведенные в учебном пособии многочисленные, в том числе оригинальные, цветные рисунки и фотографии, вне всякого сомнения, позволяют лучше воспринимать излагаемый материал.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ / CRITICS AND BIBLIOGRAPHY

по специальности 21.05.02 «Прикладная геология», направлению магистратуры 21.04.01 «Геология, разведка и оценка запасов месторождений углеводородов», при выполнении лабораторных, практических и самостоятельных работ, прохождения учебных и производственных практик, для аспирантов и молодых специалистов, интересующихся

проблемами литологии и седиментологии. Оно, безусловно, окажется полезной и более опытным преподавателям, в том числе принимающим участие в проведении учебных практик. На наш взгляд, учебное пособие привлечет внимание и более широкого круга читателей, интересующихся естествознанием, и будет прочитано с большой пользой.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Комаров Владимир Николаевич* — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры палеонтологии и региональной геологии Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (Москва).
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: komarovmgri@mail.ru
тел.: +7 (916) 481-96-84
SPIN-код: 2739-5934
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4719-1484>

Vladimir N. Komarov* — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Ass. Prof., Department of paleontology and regional geology, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: komarovmgri@mail.ru
tel.: +7 (916) 481-96-84
SPIN-code: 2739-5934
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4719-1484>

Самохвалов Сергей Александрович — старший преподаватель кафедры палеонтологии и региональной геологии Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (Москва).
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: samoxvalovs@gmail.com
тел.: +7 (926) 817-50-42
SPIN-код: 2828-9552
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5713-1867>

Sergey A. Samokhvalov — Senior Lecturer of the Department of Paleontology and Regional Geology, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: samoxvalovs@gmail.com
tel.: +7 (926) 817-50-42
SPIN-code: 2828-9552
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5713-1867>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Blank lined area for notes.

