# ИЗВЕСТИЯ

# ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

# ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

# № 6 Ноябрь—декабрь

ИЗДАЕТСЯ СЯНВАРЯ 1958 г.

Выходит 6 раз в год



ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ»

MOCKBA-2019

# Известия высших учебных заведений. Геология и разведка (Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Geologiya i Razvedka) ISSN (print) 0016-7762

# Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration

ISSN (online) 2618-8708

#### Учредитель и издатель

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ) Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI)

#### Свидетельство о регистрации СМИ:

ПИ ФС77-59165 от 18.09.2014 г.

#### Председатель редакционного совета

В.А.Косьянов

#### Члены редакционного совета

А.И.Варламов, П.Н.Гусев, Е.А.Козловский, Г.А.Машковцев, И.Г.Спиридонов, К.Н.Трубецкой (академик РАН)

#### Главный редактор

А.В.Лопатин (академик РАН)

#### Заместители главного редактора

В.В.Куликов, Ю.А.Попов

#### Члены редколлегии

М.М.Амро (Mohammed MusaAmro, Германия), М.Вердойа (Massimo Verdoya, Италия), В.К.Гаранин, И.С.Гулиев (Азербайджан), А.В.Дронов, П.А.Игнатов, М.Н.Игнатьева, В.Ю.Керимов, Н.Б.Кузнецов, В.С.Куликов, М.Г.Леонов, А.В.Малков, А.В.Маслов (чл.-корр.РАН), Ю.Б.Марин (чл.-корр.РАН), В.А.Петров (чл.-корр.РАН), П.Ю.Плечов (профессор РАН), А.В.Самсонов (чл.-корр.РАН), К.Ж.Семинский, С.А.Тихоцкий (чл.-корр.РАН), А.В.Толстов,В.Ю.Фридовский, Ш.Хуанг (Shaopeng Huang, Китай, США), С.Г.Серов (ответственный секретарь)

#### Редакция журнала

С.Г. Серов (ведущий редактор)

Сдано в набор 16.12.2019.	Подписано в печать 23.12.2019.	Формат 60×90/8.
Бумага офсет. № 1	Гарнитура Таймс	Усл.печ.л. 11,75
Учизд л.11,75.	Тираж 200 экз.	Отпечатано в типографии
	*	ООО «Принт», Ижевск

Адрес редакции: 117997, г.Москва, ул.Миклухо-Маклая, 23, МГРИ.Тел.: 8(495)433-61-66. E-mail: journal-geology@mgri.ru, serovsg@mgri.ru.Internet: http://geology.mgri-rggru.ru/

© Оформление «Изв. вузов. Геология и разведка», 2019

#### ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

2019, № 6

# СОДЕРЖАНИЕ

#### Хроника

#### Геология

#### Минералогия, Петрография, Литология

- Дернова Е.О., Капранова Е.А., Щербина Ю.В. Условия формирования и фильтрационно-емкостные свойства ниж-

#### Геология месторождений нефти и газа

#### Геофизические методы поисков и разведки

#### Техника геолого-разведочных работ

#### Гидрогеология и инженерная геология

# PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS

GEOLOGY AND EXPLORATION

2019, N 6

# CONTENTS

#### Chronics

#### Geology

#### Mineralogy, petrography, lithology

 erties of the lower cretaceous deposits of the tavdinsk mega outshot in the iussk oil and gas bearing region ...... 53-62

#### Oil and gas field geology

Dzavidan D. Ismailov, Sergey G. Serov, Rustam N. Mustaev, Alexey V. Petrov. Conditions of oil and gas formation in the territory of the eastern and Central Ciscaucasia ..... 63-72

#### Geophysical methods of prospecting and exploration

#### Geological exploration technique

#### Hydrogeology and engineering geology

The Journal «Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration» («Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Geologiya i Razvedka») has been published since 1958

> ISSN (print) 0016-7762 ISSN (online) 2618-8708

#### **Editor-in-Chief**

Lopatin Alexey Vladimirovich, Academician of the Russian Academy of Science (RAS), Doctor of Biological Sciences, Director of the Borissiak Paleontological Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

#### **Deputy Editors-in-Chief**

Kulikov Vladimir Vladislavovich, Doctor of Technical Sciences, Vice-Rector for Academic Affairs, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI) **Popov Yuriy Anatol'evich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Skolkovo Institute of Science and Technology

#### Chairman of Advisory board

Kosyanov Vadim Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI)

**Founder and publisher:** Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI)

Official web-site: http://mgri.ru/

Actual address: 117997, Russia, Moscow, st. Miklouho-Maklaya, 23, MGRI

Phone: 8 (495) 433-61-66

Journal web-site: https://geology.mgri-rggru.ru e-mail: journal-geology@mgri.ru,

### ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

2019, № 6

# ХРОНИКА

CHRONICS

УДК 330.3

# АФРИКАНСКИЕ ГОРИЗОНТЫ РОССИЙСКОЙ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

#### В.А. КОСЬЯНОВ

По результатам первого Саммита и Экономического форума Россия — Африка были определены приоритетные направления экономического сотрудничества, по которым уже в ближайшие годы можно будет достичь конкретных результатов: современная и высокотехнологичная добыча и переработка полезных ископаемых; геологоразведка; энергетика, включая возобновляемые источники энергии; развитие инфраструктуры, особенно строительство железных дорог и жилья; сельское хозяйство, цифровые технологии, медицина, наука и образование. Особое место занимает сотрудничество российских вузов с африканскими странами. Реализуемая в настоящее время Российским государственным геологоразведочным университетом имени Серго Орджоникидзе (МГРИ) научно-образовательная инициатива развития минерально — сырьевой базы Уганды, представленная в июне 2019 года президенту страны Йовери Мусевени является базисом международного сотрудничества российских вузов в восточноафриканском регионе.

Ключевые слова: Африка; саммит; экономический форум; наука и образование; международные отношения; геологоразведка.

https://doi.org/10.32454/0016-7762-2019-6-5-10

# AFRICAN HORIZONS OF RUSSIAN SCIENCE AND EDUCATION

#### VADIM A. KOSYANOV

Based on the results of the first Russia—Africa Summit and Economic Forum, priority areas of economic cooperation, according to which concrete results can be achieved in the coming years, were identified. These are modern and high-tech mining and processing of minerals, geological exploration, energy (including renewable energy sources), infrastructure development (specifically the construction of railways and housing), agriculture, digital technology, medicine, science and education. Cooperation between Russian universities and African countries occupies a special place. Currently implemented by the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI), the scientific and educational initiative for the development of the mineral resource base of Uganda, presented in June 2019 to the country's President Yoweri Museveni, is the basis for International cooperation between Russian universities in the East African region.

Keywords: Africa; summit; economic forum; science and education; international relations; geological exploration.

\*Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Саммит и Экономический форум Россия — Африка состоялись 23—24 октября в Сочи под девизом «За мир, безопасность и развитие». Столь масштабные мероприятия проводятся в современной России впервые и не имеют аналогов в истории российско-африканских отношений. Официальные делегации стран Африки и представители бизнеса выразили высокую заинтересованность в дальнейшем развитии взаимодействия, в углублении и интенсификации российско-африканского сотрудничества. Проведению Экономического форума Россия — Африка предшествовала широкомасштабная подготовительная работа, которая послужила усилению и расширению взаимодействия между Россией и Африкой.

#### Участники

Экономический форум Россия — Африка посетили свыше 6000 участников и представителей СМИ из России и 104-х иностранных государств и территорий. Среди участников более 1100 представителей иностранного бизнеса, около 1400 — российского, более 1900 представителей иностранных официальных делегаций и более 300 — российских.

На мероприятии работали официальные представители всех 54-х стран Африки (рис. 1), 45 из которых были представлены главами государств и правительств: Алжир, Ангола, Бенин, Буркина-Фасо, Гамбия, Гана, Гвинея, Демократическая Республика Конго, Джибути, Египет, Зимбабве, Кабо-Верде, Коморы, Конго, Кот-д'Ивуар, Кения, Ливия, Маврикий, Мавритания, Мадагаскар, Малави, Мали, Мозамбик, Марокко, Намибия, Нигер, Нигерия, Руанда, Сейшелы, Сенегал, Сомали, Сьерра-Леоне, Судан, Того, Тунис, Уганда, ЦАР, Чад, Экваториальная Гвинея, Эсватини, ЮАР, Южный Судан, Габон, Танзания, Эфиопия. На мероприятиях Форума присутствовали руководители исполнительных органов восьми региональных организаций Африки: Африканского союза, Африканского экспортно-импортного банка, Восточноафриканского сообщества, Сахельской пятерки, Союза Арабского Магриба, Сообщества развития Юга Африки, Экономического сообщества государств Центральной Африки, Экономического сообщества стран Западной Африки, а также представители Межправительственной организации по развитию и Общего рынка Восточной и Южной Африки. Также мероприятия посетили 109 иностранных министров и два вице-президен-



Рис. 1. Президент России Путин В.В. и официальные представители стран Африки

та: Либерии — Джуэл Ховард-Тэйлор и Бурунди — Жозеф Буторе.

Среди представителей федеральных органов власти Российской Федерации участие в Форуме приняли: заместитель Председателя Правительства — полномочный представитель Президента в Дальневосточном федеральном округе Юрий Трутнев, полномочный представитель Президента в Южном федеральном округе Владимир Устинов, а также 11 министров Российской Федерации.

#### Научно-образовательное и технологическое сотрудничество

В ходе Саммита и Экономического форума Россия — Африка подписаны 92 соглашения, контракта, меморандума о взаимопонимании. Общая сумма подписанных документов, информация о которых не является коммерческой тайной, составляет 1,004 трлн рублей. По отраслям наибольшее количество документов было подписано в области экспорта и внешнеэкономической деятельности, международного сотрудничества, высоких технологий, транспорта и логистики, добычи полезных ископаемых и геологоразведки, инвестиций и банковской деятельности.

В рамках развития научно-образовательного и технологического сотрудничества была проведена сессия «Россия — Африка: наука, образование и инновации для развития экономики». Модератором сессии выступила директор Институт Африки Российской академии наук Ирина Абрамова. Сессию открыл министр науки и высшего образования РФ Михаил Котюков. Дискуссия была посвящена вкладу научно-исследовательских работ и повышения уровня образования в решение актуальных экономических и социальных задач. Министр обозначил основные аспекты научно-технологического сотрудничества России и стран африканского континента. Отмечено, что традиционными направлениями совместных исследований являются науки о земле, биология, ядерные исследования, гуманитарные науки. Также сегодня актуальными становятся вопросы здравоохранения, обеспечения питанием, и эти задачи уже реализуются на практике и к их решению привлекаются студенты. Участники дискуссии обсудили развитие человеческого капитала, возможности повышения образовательного уровня африканской молодежи и использования достижений науки для устойчивого развития Африки, а также наиболее перспективные направления научного сотрудничества. Рассматривались вопросы развития сотрудничества в области среднего профессионального образова-





ния, открытия филиалов российских вузов на африканском континенте и увеличения бюджетных мест для студентов из Африки в рамках квоты Правительства РФ.

Реализуемая в настоящее время Российским государственным геологоразведочным университетом имени Серго Орджоникидзе (МГРИ) научно-образовательная инициатива (рис. 2) развития минерально — сырьевой базы Уганды, представленная в июне 2019 года президенту страны Йовери Мусевени является базисом международного сотрудничества российских вузов в восточноафриканском регионе.

#### Сотрудничество России и Африки в сфере развития минерально-сырьевой базы

В рамках развития минерально-сырьевой базы была проведена сессия «Полезные ископаемые стран Африки во благо населяющих ее народов» (рис. 3). Модератором сессии выступил Александр Черных — Генеральный директор Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ).

В ходе дискуссии руководители Министерств африканских стран рассказали о минерально-сырьевой базе государств, возможностях для ее освоения, мерах, которые предпринимают правительства стран по созданию условий для освоения полезных ископаемых и привлечения иностранных инвестиций в горнодобывающую промышленность. Представители компаний рассказали о возможностях своих компаний для выполнения геологоразведочных работ и добычи полезных ископаемых, поделились опытом организации добычи алмазов, марганца, металлов платиновой



Рис. 3. Заседание сессии «Полезные ископаемые стран Африки во благо населяющих ее народов»

группы и других полезных ископаемых, опытом взаимодействия руководства африканских стран и местного населения. Значительное внимание было уделено обсуждению вопросов использования современных технологий переработки минерального сырья и экологических проблем. Отдельным вопросом обсуждались задачи сотрудничества в образовательной сфере - как основы подготовки высококвалифицированных кадров для развития топливно-энергетического комплекса. Ректор ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ) Вадим Косьянов в ходе своего доклада (рис. 4) рассказал о важности учета региональной направленности при обучении студентов из разных стран Африки. Такой подход значительно повышает уровень российского образования для иностранных студентов и делает их более востребованными на рынке труда.

Затрагиваемые на саммите вопросы обсуждались с Министром природных ресурсов и экологии РФ Дмитрием Николаевичем Кобылкиным, Руководителем федерального агентства по недропользованию-заместителем министра ПРиЭ РФ Евгением Аркадьевичем Киселевым и Генеральным директором, председателем правления АО «Росгеология» Сергеем Горьковым.

#### Российская геология в Африке

В рамках рассмотрения вопросов геологического изучения Африки была проведена сессия «Российская геология в Африке: наследие и взгляд в будущее». Модератором сессии выступил Сергей Горьков — Генеральный директор, председатель правления, АО «Росгеология»

Африка исключительно богата полезными ископаемыми, хотя изучены они пока слабо. Среди других континентов она занимает первое место по запасам руд марганца, хромитов, бокситов, золота, платины, кобальта, алмазов, фосфоритов. Значительны также ресурсы нефти, природного газа, графита, асбеста. Российские компании, в свою очередь, обладают богатым опытом в проведении геологоразведочных работ и заинтересованы в работе на Африканском континенте. В процессе дискуссии были обсуждены вопросы межгосударственного сотрудничества в области геологии между Россией и Африкой, участия российских геологических предприятий для стран Африканского





Рис. 4. Выступление ректора МГРИ Вадима Косьянова в ходе дискуссии

континента, а также вопросы возобновления сотрудничества в геологическом секторе.

В ходе дискуссии было отмечено, что системные геологические исследования территории целого ряда стран Африканского континента проводились при участии и поддержке советских и российских специалистов на протяжении длительного периода времени. Следовательно, прочная основа партнерских отношений заложена и есть огромный потенциал развития. С позиции сопредседателя Межправительственных комиссий по торгово-экономическому сотрудничеству России с рядом стран Африканского континента Глава Минприроды России Дмитрий Кобылкин проинформировал о реализуемых в настоящее время российско-африканских проектах.

В свою очередь Сергей Горьков, генеральный директор, председатель правления АО «Росгеология» отметил: «Геологическая изученность Африки достаточно разноплановая: есть страны, где геологическая изученность составляет 60%, а есть, где всего 10%. Поэтому вопрос изученности и перспектив для африканских стран очень важен».

Проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ) Вагиф Керимов в ходе дискуссии заявил о целесообразности использования в Африке цифровых технологий поиска, разведки и разработки полезных ископаемых, а также о внедрении данных технологий в образовательный процесс. «Цифровизация — это веяние времени, то, чем надо заниматься», — прокомментировал Сергей Горьков, генеральный директор, председатель правления АО «Росгеология».

По завершении сессий деловой программы участники форума смогли провести ряд встреч с представителями иностранных и российских компаний, заинтересованных в сотрудничестве. Важно отметить совещание, проведенное генеральным директором, председателем правления АО «Росгеология» Сергеем Горьковым с руководством ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». На встрече были обсуждены вопросы дальнейшего взаимодействия между университетом и холдингом в рамках подписанного на Петербургском международном экономическом форуме 2019. Стороны договорились о проведении совместного научного семинара на базе МГРИ с целью демонстрации научных и технологических разработок университета.

#### Заключение

По итогам Саммита участниками была принята итоговая декларация — документ, содержащий согласованные цели и задачи дальнейшего развития российско-африканского сотрудничества во всех его измерениях: политике, безопасности, экономике, научно-технической и культурно-гуманитарной сферах. Важно отметить, что в декларации закреплен новый диалоговый механизм — Форум российско-африканского партнерства — проведение саммитов в формате Россия — Африка раз в три года: «В целях координации развития российско-африканских отношений учредить Форум партнерства Россия — Африка, определить Саммит Россия — Африка его высшим органом, который будет проводиться один раз в три года, — указывается в документе. — В период между саммитами проводить в Российской Федерации ежегодные политические консультации министров иностранных дел Российской Федерации и африканских государств, являющихся действующим, предыдущим и будущим председателями Африканского союза». В декларации также отмечается обоюдная решимость России и стран Африки вывести это сотрудничество на новый уровень — отвечающий вызовам 21-го века — когда возрастает значение обмена технологической продукцией, генерации и глобальной торговли знаниями и компетенциями.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Материалы с сайта Форума https://summitafrica.ru/
- 2. Материалы с сайта Росконгресса https://roscongress.org/
- Материалы с сайта Минобрнауки РФ https://minobrnauki. gov.ru/
- 4. Научно-образовательная инициатива для Уганды и стран восточной Африки, 2019, 110 стр.

#### REFERENCES

- 1. Materialy s sajta Foruma https://summitafrica.ru/
- 2. Materialy s sajta Roskongressa https://roscongress.org/
- 3. Materialy s sajta Minobrnauki RF https://minobrnauki.gov.ru/
- 4. Nauchno-obrazovatel'naya iniciativa dlya Ugandy i stran vostochnoj Afriki, 2019, 110 p.



Информация о выдвижении работы на соискание премий Правительства Российской Федерации в области науки и техники за 2020

# РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПОИСКОВ, РАЗВЕДКИ И ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ключевые слова: технология моделирования, разведка месторождений, нефть и газ. https://doi.org/10.32454/0016-7762-2019-6-11-17

> Information about the nomination of work for prizes Government of the Russian Federation in the field of science and technology for 2020

# DEVELOPMENT AND APPLICATION OF MODELING TECHNOLOGIES FOR HYDROCARBON DEPOSITS AND MATHEMATICAL METHODS TO SOLVE THE PROBLEMS OF SEARCHING, EXPLORATION AND PRODUCTION OF OIL AND GAS BASED ON INTEGRATED GEOLOGICAL, GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL STUDIES

Keywords: modelling technology; exploration of deposits; oil and gas.

Учёный совет Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ) выдвинул научно-исследовательские разработку «*Разработка и применение технологий моделирования месторождений углеводородов и математических методов для решения задач поисков, разведки и добычи нефти и газа на основе комплексных геолого-геофизических и геохимических исследований*» на соискание премий Правительства Российской Федерации в области науки и техники за 2020. Авторами разработки являются Косьянов В.А. (Руководитель работы), Бахтизин Р.Н., Болотов С.Н, Гутман И.С., Керимов В.Ю., Котенёв Ю.А, Куликов В.В., Мустаев Р.Н., Петров А.В., Шахвердиев А.Х.

Выдвинутая на соискание премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники научно-исследовательская разработка применяется в области разведки, добычи и переработки полезных ископаемых. В рамках работы разработаны технологии моделирования и математические методы для решения задач, стоящих перед каждым этапом и стадией жизненного цикла месторождения углеводородов — поисков, разведки и добычи Жизненный цикл месторождения может быть представлен как серия проектов направленных на реализацию отдельных стадий и этапов на основе применения разработанных технологий моделирования и математических методов. Разработанные авторами технологии моделирования углеводородных систем и методические приёмы численного моделирования поисков и разведки являются результатом проведённых комплексных исследований геолого-геофизических, геохимических, геофлюидодинамических и др. условий формирования и закономерностей распространения месторождений углеводородов в различных регионах и акваториях. Таким образом, для каждого этапа геологоразведочных работ и эксплуатации месторождений нефти и газа были разработаны технологии моделирования и математические методы, которые описаны ниже.

#### 1. Технология моделирования углеводородных систем и методика численного моделирования прогноза, поисков и разведки месторождений нефти и газа

Технология моделирования углеводородных систем (УС) и исследование их элементов позволяют: проводить моделирование сложных флюидодинамических процессов, протекающих в осадочном чехле в геологическом масштабе времени; прогнозировать современные свойства геофлюидальных систем; создавать различные сценарии эволюции углеводородных систем во времени и пространстве; эффективно организовать геологическую информацию, что обеспечивает эффективность исследований в направлении прогноза и поисков УВ; проводить быструю переоценку объекта при изменении любого параметра. Особенностью разработанной технологии является создание методики и методических приемов, в основу которых

\*Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.



положены геологические модели и программные модули численного моделирования, отражающие особенности регионов со сложным геологическим строением, где имеют место проявления магматизма, соляной тектоники, эрозии, аномально высоких пластовых давлений, грязевого вулканизма, неравно-весной лавинной седиментации, стрессовых палеотектонических и неотектонических механизмов, покровно-шарьяжной тектоники, ступенчато-блоково-глыбового строения и др.

Цифровая бассейновая модель — это рабочая гипотеза, в рамках которой вся накопленная геологическая информация систематизирована с единых методологических позиций, что позволяет осуществлять оценку нефтегазоносности на каждом этапе исследований. По мере получения новых данных уточняется модель и вместе с ней прогноз. В этом смысле современный эффективный геологоразведочный процесс представляет собой технологический цикл, включающий несколько вложенных циклов (рис. 1).

Таким образом, основу современного технологического цикла составляют два базовых элемента (цифровая модель бассейна и углеводородных систем) и два ключевых элемента, к которым, относится оценка рисков, которая позволяет обоснованно оптимизировать затраты и увеличивать эффективность ГРР. Экономический аспект особенно актуален, когда отчетливо обозначился переход к изучению и освоению морских месторождений, выход во всё более глубоководные провинции, а так же — на месторождения, залегающие на больших глубинах и во всё более сложных горно-геологических условиях, что приводит к существенному удорожанию всех стадий геологоразведочного процесса. Результаты моделирования позволяют проводить оценку геологических рисков, направленную на повышение эффективности ГРР.

Для оценки «**риск-моделей**» на разных трехмерных моделях использовалось разное число вариаций. Так, к примеру для региональной модели строения и эволюции кайнозойского чехла северо-восточной части Присахалинского шельфа были созданы и проанализированы 80 региональных трехмерных моделей, а для Киринского, Аяшского и Восточно-Одоптинского участков — по 50 «риск-моделей». Большее число региональных моделей обусловлено желанием привнести большее понимание в региональные процессы и элементы углеводородных систем.

Для этого были использованы как уже существующие скважины, так и проектные, которые были добавлены в модели по результатам базового моделирования и планов бурения в акватории Присахалинского шельфа. Наиболее информативным способом анализа результатов риск-моделирования являются «диаграммы торнадо». Эти диаграммы были построены для скважин и иллюстрируют степень корреляции калибруемого параметра с каждой неопределенностью. Итоговая карта геологических рисков составлена путем перемножения «гридов» всех трех факторов между собой. Результирующая карта часто в зарубежной литературе называемая «Светофор» показана на рис. 2. В соответствии с выбранной методикой по-



Рис. 1. Технологический цикл современного геологоразведочного процесса



Рис. 2. а — Модель миграции и аккумуляции; б — карта вероятности открытия залежей УВ

строения карты рисков, перспективным объектам были присвоены итоговые коэффициенты. С позитивной стороны выделяются проектные скважины Аяшская-1 и Восточная-1.

Таким образом, применение цифровых технологий и численного моделирования позволяет осуществить реконструировать геологические процессы, протекающих в осадочных бассейнах с использованием физико-математического аппарата и провести комплексные исследования закономерностей формирования месторождений углеводородов. В результате моделирования углеводородных систем, наряду с графическим представлением, создаются численные модели, в которых взаимосвязанные термодинамические и геологические процессы и их результаты могут быть воспроизведены с целью более полного понимания строения бассейна, количественного анализа и прогноза зон вероятного нефтегазонакопления.

#### 2. Технология региональной и детальной корреляция разрезов скважин в автоматическом и интерактивном режимах с целью распознавания условий залегания и формирования пород сложно построенных геологических объектов

Созданная технология и отечественный программный комплекс корреляции разрезов сква-

жин и геолого-промыслового моделирования «AutoCorr», при разработке которого отрабатывались основные принципы и методики автоматической и интерактивной корреляции разрезов скважин, внедрение которых позволяет по-новому взглянуть на особенности залегания и формирования сложнопостроенных нефтегазоносных объектов. Технология автоматической и автоматизированной корреляции представляет собой единый процесс изучения исследуемых нефтегазоносных объектов, который обеспечивает, одновременно с получением первичных результатов корреляции, возможность оценки ее качества с помощью запатентованного метода возврата в известную скважину по триангуляции. «AutoCorr» реализует построение детальной корреляции геофизических разрезов пар скважин в автоматическом и полуавтоматическом режиме со скоростью на порядки превосходящие любые интерактивные методы.

Полученная корреляция отражает строение всего разреза с детализацией до нескольких шагов оцифровки каротажа. Автоматическая проверка согласованности полученных детальных корреляций и выделение тех, в которых содержатся ошибки рассогласования, дают возможность сконцентрировать внимание специалиста на проблемных частях месторождения, освобождая от рутинной работы в простых ситуациях. Таким образом,



Рис. 3. Последовательность непрерывного процесса моделирования залежей УВ

в «AutoCorr» предусмотрена определенная последовательность (рис. 3), в которой на основе подготовки и выполнения корреляции исходной пары скважин по созданной программой триангуляционной сети осуществляется парная корреляция, а затем построение схем корреляции, охватывающих все без исключения скважины изучаемого объекта. При этом операции в интерактивном режиме отличаются от ручного варианта быстродействием и большим набором высокоэффективных процедур по принципу «одной кнопки». Благодаря всему этому использование модуля «AutoCorr» существенно повышает скорость выполнения проектов и качество полученных моделей по сравнению с любыми импортными программными продуктами.

Процесс корреляции разрезов скважин сопровождается следующими стадиями: распознавание образов геофизических кривых, геологических моделей сложнопостроенных объектов, а также распознавание условий их залегания и формирования. Такая методическая последовательность опробована на примерах корреляции сложнопостроенных нефтегазоносных объектов в пределах основных нефтегазоносных провинций страны. Программа содержит полный комплекс средств для процесса 2D моделирования и подсчета запасов, включает блоки построения схем детальной корреляции, обоснования контактов, оформления планшетов, профилей с различными видами выклинивания и литологического замещения, карт и подсчетных планов в полном соответствии с требованиями ФБУ «ГКЗ», что также выгодно отличает её от импортных решений.

#### 3. Концептуальные основы и технология системной оптимизации процесса разработки нефтяных месторождений

Созданы концептуальные основы системной оптимизации процесса разработки нефтяных месторождений на основе теоретических, экспериментальных и промысловых исследований с применением альтернативных детерминированных и стохастических методов анализа, диагноза, прогноза и управления системой нефтегазовых объектов. В основу математических методов положена теория фильтрации однородной и газированной жидкостей в коллекторах, представленных упругими, упругопластическими и пластическими деформируемыми пористыми и трещиновато-пористыми средами, что позволило создать модельные основы эволюции пластовой системы и последствий нарушения принципа системности при разработке нефтяной залежи; исследованы изменения соотношений параметров подвижности под влиянием изменений динамических условий при фильтрации флюидов в упругих, упругопластических и пластических средах и оценка воздействия этих изменений на продуктивность скважин; разработана теория фильтрации однородной и газироХРОНИКА CHRONICS



ванной жидкостей в коллекторах, представленных упругими, упругопластическими и пластическими деформируемыми пористыми и трещиновато-пористыми средами; разработан способ определения местонахождения застойных и слабодренируемых зон нефтяной залежи и вовлечения в активную разработку; решена задача системной оптимизации режима работы фонда скважин на основе изучения влияния структуры потока на их производительность, регулирование и унификацию технологических режимов системы скважин с использованием возможности теории катастроф.

Впервые разработана модельная основа унифицированной методики расчета технологической эффективности геолого-технических мероприятий (ГТМ), в том числе методов повышения нефтеотдачи пластов и методов интенсификации добычи нефти. На основании решения важных научно-технологических проблем нефтегазовой отрасли разработаны и внедрены: новая альтернативная технология нестационарного заводнения месторождений нефти предотвращающая негативные последствия неустойчивости водо-нефтяного контакта; теоретические и практические основы разработки глубоких и сверхглубоких месторождений углеводородного сырья (УВС) с упругими (обратимыми), упругопластическими (частично необратимыми) и пластическими (необратимыми) режимами пласта; новая методика выбора оптимального варианта проекта разработки нефтяных месторождений в условиях риска неопределенности и неточности геологических и извлекаемых запасов; энерго-ресурсосберегающие реогазохимические технологии повышения нефтеотдачи пластов и интенсификации добычи нефти на основе генерации углекислого газа (СО<sub>2</sub>) в пластовых условиях; унифицированная методика оценки технологической и экономической эффективности геолого-технических мероприятий, в том числе методов повышения нефтеотдачи пластов и интенсификации добычи нефти.

Разработанные авторами технологии служат основой для импортозамещения зарубежных аналогов. Широкое внедрение в нефтегазовой отрасли получили созданные «Унифицированная методика определения технологической эффективности геолого-технологических мероприятий» и программные комплексы «ШАХМЕТ» свидетельство о регистрации 2002611922, 2002 г., «ШАХМЕТЭК» свидетельство о регистрации 200561102, 2005 г. Заложены основы малопараметрического стохастического моделирования процесса разработки месторождений нефти и газа. Разработана новая методика, обеспечивающая выбор оптимального варианта проекта разработки месторождений углеводородов в условиях неопределенности и недостаточности информации. Разработанная на этой основе экономико-математическая модель выбора оптимального варианта проекта разработки при существенном отклонении запасов составляет основу софтверного пакета «Оптима» (свидетельство о регистрации 2008610892, 2008 г.).

#### 4. Технология моделирования углеводородных систем и адресного воздействия для повышения эффективности выработки трудноизвлекаемых запасов нефти

Технология позволяет создавать адекватные реальным объектам модели с трудноизвлекаемыми запасами (ТрИЗ) и на основании экспериментальных. теоретических исследований. геолого-математического и геолого-статистического моделирования создать наиболее приемлемую концепцию разработки объекта и внедрения адаптированных технологий увеличения нефтеотдачи. Она апробирована в двух нефтегазоносных провинциях РФ -Волго-Уральской и Западно-Сибирской. Научная новизна разработки связана: с созданием научно-метолических основ геолого-технологического обоснования разработки месторождений с различными категориями трудноизвлекаемых и остаточных запасов нефти; разработкой методики выбора объектов, обоснования адресного воздействия и адаптации технологий увеличения нефтеотдачи на залежах нефти с трудноизвлекаемыми и остаточными запасами нефти; разработкой новых технологий физико-химического и микробиологического воздействия на трудноизвлекаемые запасы нефти. С привлечением аппарата математического моделирования экспериментально и теоретически обоснованы и оптимизированы технологии разработки трудноизвлекаемых запасов в карбонатных и терригенных коллекторах;

Совершенствование разработки продуктивных объектов предусматривается по трем наиболее важным направлениям: детальное геолого-технологическое обоснование эффективности применения методов увеличения нефтеотдачи и технологических мероприятий по совершенствованию ряда технологий и разработке новых; оценка экономической эффективности и целесообразности технологических решений, дифференцированная оценка затрат и себестоимости добычи нефти по объектам внедрения с целью их снижения; оценка уровня экологической безопасности применения методов увеличения нефтеотдачи в геологических условиях объектов и предупреждение техногенного воздействия на окружающую среду. Для комплексного обоснования и прогноза эффективности гео-

лого-технологических мероприятий реализован следующий системный подход: с помощью геолого-промыслового или же математического моделирования производится дифференциация остаточных балансовых и извлекаемых запасов по продуктивным пластам, залежам и зонам; производится картирование остаточных запасов; на основе подготовленной базы геолого-физических и промысловых данных формируется «Информационно-поисковая система оперативного контроля, анализа и регулирования процесса разработки нефтяных месторождений (программный комплекс «Geomage»).

# 5. Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа данных «КОСКАД 3D»

Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа данных «КОСКАД 3D» предназначена для интерпретационной обработки площадной и пространственной геолого-геофизической информации. Функциональное наполнение компьютерной технологии включает программную реализацию методов теории вероятностей и математической статистики, спектрально-корреляционного и регрессионного анализа, дисперсионного и факторного анализа, линейной оптимальной фильтрации, статистической теории обнаружения слабых сигналов, алгоритмов кластер-анализа и распознавания образов. Типичные задачи интерпретационной обработки включают: оценку статистических, спектрально-корреляционных и градиентных характеристик полей в адаптивных скользящих окнах; автоматическое трассирования осей аномалий. разложение потенциальных полей на составляющие путем двумерной адаптивной фильтрации, направлен-ной на выделение аномальных эффектов в условиях непрерывной изменчивости спектрально-корреляционных свойств полезного сигнала и помехи; выделения слабоконтрастных геологических объектов путем реализации самонастраивающихся фильтров и межпрофильной корреляции аномальных эффектов; комплексный анализ потенциальных полей и их атрибутов оригинальными методами без эталонной классификации, распознавания образов и компонентного анализа; статистическое зондирование геополей; трансформации потенциальных полей в нижнее полупространство с оценкой объемного распределения избыточной плотности и магнитной восприимчивости и построением глубинных разрезов; построения магнитных и плотностных объемных моделей.

Графические построения и визуализация результатов интерпретационной обработки осуществляются в технологии на основе разработанных средств визуализации геолого-геофизической информации в виде растровых карт, карт графиков и отдельных графиков и объемного представления трехмерной информации. Отличительной особенностью алгоритмов компьютерной технологии «КОСКАД 3D» является возможность выделения аномальных эффектов в условиях нестационарности геофизических полей, когда наблюдается изменение спектрально-корреляционных свойств изучаемого поля как по профилям и площади, так и в пространстве. Это предопределяет преимущества системы «КОСКАД 3D» по сравнению со многими пакетами и системами интерпретационной обработки, в которых задачи интерпретационной обработки реализуются в предположении стационарного характера анализируемо геофизического поля, которое никогда не выполняется на практике.

Комплексные исследования и полученные результаты использованы для создания рационального недропользования и формирования программ долгосрочных и среднесрочных планов геологоразведочных работ, а технологии моделирования поисков, разведки, добычи и транспортировки углеводородного сырья — определить новые направления развития в части цифровизации ТЭК РФ. Разработанная технология корреляции разрезов скважин и геолого-промыслового моделирования «AutoCorr» одобрена и рекомендована для решения задач по подсчету геологических запасов в ФБУ «ГКЗ». Унифицированная методика определения технологической эффективности геолого-технологических мероприятий и программные комплексы (свидетельства о регистрации 2002611922, 2002 г., и 200561102, 2005 г.), обеспечивающие выбор оптимального варианта разработки месторождений углеводородов в условиях неопределенности и недостаточности информации и созданная на ее основе экономико-математическая модель составляет основу софтверного пакета «Оптима» (свидетельство о регистрации 2008610892, 2008 г). имеет большое значение для практики и широко внедряются в нефтегазовой отрасли.

Внедрение предложенных технологий обеспечили прирост ресурсной базы: по объектам ПАО «Газпром» (Черноморско-Каспийский регион, Оренбургское Предуралье и Прикаспийская синеклиза) нефти на 431,18 млн. т и газа на 2,478 трлн. м<sup>3</sup>; по объектам Министерства природных ресурсов и экологии РФ — по Восточной Сибири на 58,5 млрд. т н.э. и по Охотскому морю на 5,7 млрд. т н.э. Созданные технологии повышения нефтеотдачи пластов и интенсификации добычи нефти широко



внедрены на нефтяных месторождениях ведущих нефтедобывающих компаний России - ПАО «ЛУ-КОЙЛ», ПАО «Газпромнефть», ОАО «ТНК-ВР», ОАО «Славнефть», ПАО РОСНЕФТЬ, ПАО АНК «Башнефть», ПАО «Татнефть», ООО ТНК-ВР «Оренбургнефть», ООО «Лукойл-Западная Сибирь» и ряда зарубежных стран — Китайская Народная Республика, Азербайджан, Казахстан (АО «Эмбамунайгаз», «ЮжКазМунайГаз»), США. Реогазохимическая технология внутрипластовой газогенерации для извлечения остаточных запасов нефти используется компаниями GCC Group Inc. (США), SINOPEC, CNOOC, COSL (КНР). Texнология «КОСКАД 3D» широко используется АО «Росгеология» Иркутское геофизическое подразделение (ИГП), ЗАО КЦ «РОСГЕОФИЗИКА», АО «ГНПП «Аэрогеофизика», ФГУП «ЦНИГРИ», ФГУП «ВИМС», ООО «ТНГ-Казань-геофизика», ТОО «Каззарубежгеология», ОАО «Сибирский научно-аналитический центр», ТОО «Персиан Гадир Казахстан Ко» (Persian Ghadir Kazakhstan Co), Vietnam Petroleum Institute и многих других.

Экономический и социальный эффекты внедрения разработок выражаются в наращивании ресурсной базы минерального сырья в РФ, снижении затрат за счет оптимизации и повышения эффективности геологоразведочных работ, интенсификации добычи и транспортировки нефти и газа. Социальным эффектом является использование результатов исследований в создании университетами комплексов образовательных программ подготовки магистров, кандидатов и докторов наук, а также в создании учебников и учебных пособий.

## Уважаемые коллеги!

Просим направить свои предложения и замечания по выдвигаемой работе в адрес редакции любым удобным способом.

#### ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕЛКА

2019, № 6

## ГЕОЛОГИЯ

## GEOLOGY

УДК 674.553.02

# ФРАГМЕНТ КРУПНОЙ СТРУКТУРЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТИПА, РАСПОЛОЖЕННОЙ НА ЮГЕ УГАНДЫ, И ЕЕ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

П.А. ИГНАТОВ<sup>1</sup>, А.А. ИВАНОВ<sup>1</sup>, А.В. АБРАМОВ<sup>1</sup>, JAMES KASIGWA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия e-mail: petrignatov@gmail.com, ivanov\_off@mail.ru, alekseyy.abr@rambler.ru

<sup>2</sup>Directorate ST&I Regulation & Biosafety Ministry of Science, Technology & Innovation The Republic of Uganda Plot 19, Lumumba Avenue, Rumee Building, P.O. Box 7466, Kampala Uganda e-mail: info@mosti.go.ug

Для южных районов Уганды рассмотрено металлогеническое значение регионального дугово-Для южных районов Уганды рассмотрено металлогеническое значение регионального дугово-го пояса даек основного и ультраосновного состава. Показано, что он является частью дугового секто-ра крупной структуры центрального типа с диаметром около 700 км. Она имела длительное развитие в рифейском этапе тектоно-магматической активизации. Сформирована 1,37 млрд. лет, подновлена око-ло 1 млрд. лет и в конце рифея (0,5–0,6 млрд. лет). Эта структура включает все крупные месторожде-ния Sn, W, Na, Nb, Ni, REE, Au Бурунди, Конго, Руанды, Танзании и Уганды. В Уганде месторожде-ния Sn, W и редких металлов контролируются малыми интрузиями гранитов с возрастом 1 млрд. лет и узлами пересечения радиальных разломов, представляющих структуры центрального типа мелкого порядка, входящие в центральную часть выделенной мегаструктуры. Приведены материалы по связи золотого оруденения с узлами пересечения крупных дуговых, радиальных и взбросо-сдвиговых разломов.

Ключевые слова: структуры центрального типа; региональный дуговой пояс даек основного и ультраосновного состава; металлогения рудоконтролирующие структуры..

https://doi.org/10.32454/0016-7762-2019-6-18-25

## FRAGMENT OF A CENTRAL-TYPE LARGE STRUCTURE LOCATED IN SOUTHERN UGANDA AND ITS METALLOGENIC VALUE

PETR A. IGNATOV<sup>1</sup>, ANDREY A. IVANOV<sup>1</sup>, ALEXEY V. ABRAMOV<sup>1</sup>, JAMES KASIGWA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: petrignatov@gmail.com, ivanov\_off@mail.ru, alekseyy.abr@rambler.ru

<sup>2</sup>Directorate ST&I Regulation & Biosafety Ministry of Science, Technology & Innovation The Republic of Uganda Plot 19, Lumumba Avenue, Rumee Building, P.O. Box 7466, Kampala Uganda e-mail: info@mosti.go.ug

For the southern regions of Uganda, the metallogenic value of the regional arc belt of dikes of the main and ultrabasic composition was considered. It is shown that it is part of the arc sector of a large central-type structure with a diameter of about 700 km. It had a long development in the Riphean sequence of tectono-magmatic activation. This structure was formed over 1,37 billion years ago and reformed approximately 1 billion years ago and at the end of the Riphean sequence (0,5–0,6 billion years ago). This structure includes all major deposits of Sn, W, Na, Nb, Ni, REE and Au in Burundi, Congo, Rwanda, Tanzania and Uganda. In Uganda, the Sn, W and rare metals fields are controlled by small intrusions of granite with an age of 1 billion years and crossing nodes of radial faults, which are the central-type structures of small order that are included in the central part of the allocated megastructure. Materials in the relationship of ore-grade gold mineralisation with the crossing nodes of large arc, radial and overfault-shift faults are given.

Keywords: central-type structures; regional arc belt of dikes of the main and ultra-basic composition; metallogeny; ore control structures.

\*Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.



В южных провинциях Республики Уганда сосредоточены месторождения и рудопроявления золота, меди, никеля, олова, вольфрама, бериллия, тантала и ниобия и имеются перспективы их открытия. Большинство известных рудных объектов расположено в метаморфических сланцах, гранитах и пегматитах протерозойских складчатых поясов Рвензори (Rwenzori Fold Belt), Бусиа (Busia-Kakamega greenstone belt), Северо-Кибарском (North Kibaran Belt) [Brinckmann et al., 1987, Pohl, 1994, 2006, Westerhof et al., 2014 et al.].

Расположение рудных полей определяется региональными структурами, связанными с неопротерозойской (рифейской) тектоно-магматической активизацией, проявленной в виде крупных разломов, гранитных массивов, дайковых поясов и складчато-разрывных деформаций метаморфических пород позднеархейских гранито-гнейсовых поднятий и зеленокаменных поясов и палео- и мезопротерозойских метавулканогенных и терригенно-сланцевых толщ. Одной из таких структур является широкий дайковый пояс габбро Arcuate Dyke System, имеющий возраст 1,37 млрд. лет [Mäkitie et al., 2011]. Впервые в данной статье рассмотрено металлогеническое значение этого пояса.

Для анализа использованы геолого-геофизические материалы геологической службы Республики Уганда и, прежде всего, результаты геолого-съемочных работ последних лет, выполненных финскими специалистами [Westerhof et al., 2012].

# Общие сведения о геологическом строении юго-запада Уганды

В геологическом строении рассматриваемой юго-западной части Уганды принимают участие породы, сформировавшиеся в четыре этапа: поздний архей, палеопротерозой, мезо- и неопротерозой (рифей) и неоген-четвертичный. Они слагают соответствующие структурно-формационные комплексы. Архейский фундамент с возрастом около 2,6 млрд лет, представлен гранитами, гнейсами, амфиболитами, реже метабазитами. Палеопротерозойский комплекс с возрастом 1,8-2,0 млрд лет сложен сланцами, кварцитами, в меньшей мере, конгломератами и метабазальтами, прорванными гранитами. Несогласно залегающие рифейские толщи слагаются кварцитами, сланцами, филлитами, песчаниками и аргиллитами. На крайнем юго-западе рифейские породы метаморфизованны до амфиболитов и парагнейсов. Они интрудированы дайками долеритов и пироксенитов возраста 1.37 млрд лет, гранитами, в том числе порфировыми, и пегматитами возрастом 1,1 млрд лет и более поздними дайками долеритов и горнблендитов.

Породы всех комплексов существенно нарушены сложными складками и разломами.

Неоген-четвертичный комплекс представлен полого залегающими осадочными отложениями и современными вулканическими образованиями одной из ветвей Восточно-Африканских рифтов.

#### Рифейский дайковый комплекс

Рифейские дайки долеритов и пироксенитов отчетливо выражены в магнитном поле линейными локальными аномалиями и узкими высокоградиентными зонами шириной от первых сотен метров и протяженностью в десятки километров. Эти аномалии пересекают области с резко разными магнитными параметрами, которые отражают интрузивные и осадочно-метаморфические комплексы. В то же время они сами пересекаются похожими линейными аномалиями, которые интерпретируются как тектонические нарушения.

В распространении даек надо отметить три закономерности.

Во-первых, весь пояс протяженностью  $\approx 400$  км и шириной  $\approx 150$  км слагает гигантскую дугу кругового сегмента с радиусом порядка 350—380 км, что отражено в его названии (Arcuate Dyke System).

Во-вторых, дайки часто имеют кулисное окончание и расположены субпараллельно друг другу с расстояниями между ними от нескольких сотен метров до 3—5 км в виде отдельных сближенных пучков.

В-третьих, имеет место тренд наибольшего распространения даек в центральной части пояса и уменьшения их числа к его краям. При этом уменьшается не только количество даек, но и их протяженность.

Отмеченные закономерности явно отражают главное значение в образовании даек региональных дуговых разломов гигантской структуры центрального типа, вероятно, вулканического происхождения. Для докембрия в целом характерны особенно крупные вулканические сооружения центрального типа [Дьяконов и др., 2016].

Следует подчеркнуть, что отдельные дайки рассматриваемого пояса практически не выражены в рельефе и соответственно на космических снимках. Это, по-видимому, связано с развитием тектонических деформаций неотектонического этапа континентального рифтогенеза, затушевавших древние структуры. Однако, дайковый пояс ярко выражен в магнитном поле (рис. 1). Помимо отчетливо выраженных в магнитном поле дуговых даек, выполнявших соответствующие разломы, надо отметить присутствие и радиальных нарушений. Они выражены фрагментарно, но прослежи-



Соотношения этого разлома с дайками сложное. Во-первых, большинство даек им экранируются. Во-вторых, часть даек, вероятно, смещена по нему, хотя на геологических картах показано и пересечение дайками этого нарушения. Скорее всего, данный разлом надо считать постдайковым крупным взбросо-сдвигом. На это указывают юго-запалный полворот лаек вблизи разлома и правостороннее смещение характерных линейных аномалий (даек долеритов) соответственно северо-восточнее и юго-восточнее золотой россыпи Бутити (рис. 2). Частично он мог быть унаследован от крупного радиального нарушения, синхронного формированию рассматриваемого дайкового пояса.

Рассматриваемое нарушение, вероятно, имеет рудоконтролирующее значение, поскольку в зоне его влияния локализована россыпь золота Бутити (Butiti), вблизи которой известны кварцевые жилы [Westerhof A.V Phil et al., 2014].

ваются также на десятки километров [Geological map., 2014]. Следует отметить, что в пределах дайкового пояса радиальные нарушения прослеживаются сериями и более ярко проявляются в магнитном поле. Южнее, эти серии переходят в отдельные нарушения, относительно слабо выраженные в магнитном поле и вынесенные на схему с карты [Geological map., 2014].

### Соотношение даек с разломами

Большая часть юго-запада Уганды, включающая дуговой пояс даек, представляет собой часть сектора, ограниченного на юго-востоке акваторией оз. Виктория (рис. 2). На западе имеется тектоническое ограничение по протяженному разлому северо-восточного простирания. Этот региональный разлом разделяет два крупных блока земной коры — архейский Северо-Угандийский и протерозойский Западно-Танзанийский террейны [Westerhof et al., 2012].

Рис. 1. Карта аномального магнитного поля (*a*) и схема радиальных и кольцевых разломов среднерифейского возраста (*б*): *1* – границы пояса даек; *2* – основные дуговые разломы; *3* – поздний взбросо-сдвиг; *4* – радиальные разломы. Разломы выделены по аэромагнитным данным [Westerhof et al., 2012]



ГЕОЛОГИЯ GEOLOGY





Рис. 2. Подворот ряда линейных положительных аномалий (даек основного состава) и их правостороннее смещение в зоне предполагаемого взбросо-сдвига в районе россыпи золота Бутити: *a* – фрагмент аэромагнитной карты, *б* – фрагмент геологической карты [Westerhof et al., 2012]. *1*−2 – архей – неоархей: *1* – тоналит-трондъемит-гранодиоритовые гнейсы (2611+/-5 млн.лет); *2* – метагаббро, амфиболиты; *3* – граниты серии Форт Портал; *4*−5 – протерозой.толща Буганда, включающая: *4* – ортокварциты и конгломераты; *5* – слюдистые сланцы с прослоями кварцитов; *6* – граниты формации Кьенджоджо; 7 – четвертичные лапиллиевые туфы формации Альбертини; *8* – современные аллювиальные отложения; *9* – рифейские дайки долеритов и пироксенов (1368+/-41 млн. лет; 1374+/-42 млн.лет); *10* – крупный взбросо-сдвиг; *11* – россыпь золота Бутити; *12* – населённые пункты



Рис. 3. Фрагмент геологической карты Уганды масштаба 1:250 000 (лист SA 36-1 Mbarara) [Westerhof et al., 2012]: 1 – протерозойскме гранито-гнейсы Рукунгири (2147+/- млн.лет); 2-5 – свиты мезопротерозоя: 2 – свита Нямирима, слюдистые сланцы; 3 – свита Микамба, филлитовые сланцы, песчаники; 4 – Мишаша, кварцевые песчаники; 5 – Няйгуру, филлитовые сланцы; 6-8 – протерозойские (раннерифейские) граниты: 6 – пегматитовые граниты формации Рубале (≈1,2 млрд.лет); 7 – порфировые граниты; 8 – формации Нтунгамо; 9 – современные аллювиальные отложения; 10 – месторождения редких элементов а) штокверковые б) пегматитовые; 11 – кварцевые жилы; 12 – дайки долеритов и горнблендитов; 13 – достоверные разломы; 14 – метадолериты; 15 – населённые пункты

Внутри сектора проявлены разломы север-северо-восточного, северо-восточного и восток-северо-восточного простирания. Они не смещают дайки основного состава, что позволяет отнести их к радиальным разломам. Фрагменты радиальных разломов выполнены теми же дайками долеритов и пироксенитов. Например, северо-западные дайки закартированы на водоразделе междуречья рек Нчвера (Nchwera) и Рутунду (Rutundu) [Geological map., 2014, Westerhof et al., 2012].

Юго-западную часть сектора занимают рифейские осадочно-метаморфические и вулканогенно-метаморфические толщи формационных комплексов Кагера-Бухвей и Аканиару-Анколе (Kagera-Buhweju, Akanyaru-Ankole Supergroups). Они осложнены гранитоидными массивами с возрастом около 1 млрд. лет [Westerhof et al., 2012].

Рис. 4. Локализация месторождения золота Камаленге в пучке даек основного состава в экзоконтакте с массивом гранитов:  $a - фрагмент карты магнитного поля; <math>\delta - фрагмент геологической карты [Westerhof et al., 2012]. <math>1-7 - протерозой; 1 - ортокварциты и конгломераты формации. Виктория; <math>2-3 - толща Буганда, включающая серию Нил и свиты: 2 - сланцы, филлиты; 3 - базальты Буджагали; 4 - серицитизированные граниты Мубендэ-Синго; <math>5-7$  - толща Кагера-Бухвежу: 5 - долериты формации Кьято (≈1,68 млрд.лет); 6 - песчаники; 7 - конгломераты, песчаники; 8 - четвертичные латериты; 9 - современные аллювиальные отложения; 10 - месторождения золота жильного типа; 11 - дайки долеритов и пироксенов состава (1368+/-41 млн.лет; 1374+/- 42 млн.лет); 12 - разломы; 13 - населённые пункты

ГЕОЛОГИЯ GEOLOGY





а



23

Выделенная структура центрального типа, очевидно, была долгоживущей. Об этом свидетельствуют дайки долеритов и горнблендитов, расположенные юго-восточнее п. Рукунгири (Rukungiri), пересекающие граниты и пегматоидные граниты с возрастом 1,1 млрд. лет (рис. 3).

На этой же карте виден изометричный интрузив, сложенный двумя фазами ранних гранитов и поздних пегматоидных гранитов, также рифейского возраста (1,1 млрд лет). Подобных массивов гранитов на крайнем юго-западе Уганды несколько. Их надо рассматривать в качестве центральных частей палеовулканоструктур мелкого порядка. Радиальные разломы из такого рода центров отчетливо дешифрируются по данным магнитометрии. Внедрение даек и силлов основного и ультраосновного состава рассматриваемого пояса отражает важнейший этап рифейской тектоно-магматической активизации региона. Тогда, помимо проявлений основного и ультраосновного глубинного магматизма, формировались кислые вулканиты, S-граниты, пегматиты, грейзены и гидротермальные кварцевые жилы [Link et al., 2010]. Этот этап включал две стадии: раннюю (1,3-1,4 млрд. лет) основного и ультраосновного магматизма и позднюю (1,1-1,0 млрд. лет) внедрения гранитоидов, которые соответствуют Кибарской и Ирумидской фазам диастрофизма Африки [Геология, 1990].

# Мегаструктура центрального типа и ее металлогеническое значение

Рифейская тектоно-магматическая активизация является главной в металлогении района с образованием месторождений Sn, W, Be, Ta, Nb и Au [Pohl, 1994, 2006]. Если пролонгировать всю мегаструктуру, то в ее контур попадают практически все крупные и средние по запасам месторождения редких металлов, олова, вольфрама, никеля и золота восточной части Демократической Республики Конго, Руанды, Бурунди, запада Танзании и юго-запада Уганды. Не случайно, что примерно в центре мегаструктуры находятся карбонатитовые массивы Кирумбе и Луеше поздний рифей-вендского возраста (0,688 и 0,516 млрд лет) [Ganzeev, 2000] с крупным месторождением ниобия в последнем.

Важно отметить два важных фактора локализации известных месторождений золота, олова, вольфрама, бериллия, тантала и ниобия южных провинций Уганды выделенного сегмента гигантской структуры центрального типа.

Во-первых, очевидна роль изометричных массивов гранит-порфиров и пегматоидных гранитов (гранитных куполов) среднерифейского возраста в локализации грейзеновых месторождений вольфрама и олова. В периферии таких массивов распространены жилы пегматитов с рудами бериллия, олова, тантала и ниобия. Эти объекты локализованы в центральной части региональной структуры центрального типа в центрах вулканоструктур второго порядка

Во-вторых, для локализации золоторудных месторождений важное значение, имели узлы пересечения радиальных и дуговых разломов с возрастом 1,37 млрд лет. Вероятно, они создавали структурный каркас в предрудную эпоху. Это можно показать на примере площади рудного поля с месторождением Камаленге (Kamalrnge), расположенного в поясе даек в нижнепротерозойских сланцах и кварцитах складчатого пояса Рванензи (Ugandan Rwenzori Fold Belt) на контакте с протерозойским гранитным массивом (рис. 4).

Разломы собственно рудного этапа проявились позже в позднем рифее и сопровождали гидротермальные процессы.

#### Заключение

Проанализированные геолого-геофизические материалы по южным районам Уганды позволяют сделать следующие выводы.

Во-первых, по дуговому поясу даек основного и ультраосновного состава выделен сектор гигантской мегаструктуры центрального типа с диаметром порядка 650—700 км, включающий районы Уганды, Руанды, Танзании, Бурунди и Демократической республики Конго.

Во-вторых, выделенный сектор мегаструктуры включает все промышленно важные месторождения олова, тантала, ниобия, вольфрама, редких земель, никеля и золота региона.

В-третьих, отдельные пучки даек дугового пояса, радиальные разломы, узлы их пересечения в совокупности с позднепротерозойскими взбрососдвигами, протерозойскими гранитами, расположенными в познеархейских зеленокаменных поясах и протерозойских складчатых поясах Рвензори и Кибарском на юге Уганды, служат структурной основой для прогноза золоторудных месторождений.



#### ЛИТЕРАТУРА

- Геология и полезные ископаемые Африки. Учебник. Под ред. Е.А.Долгинова. М. Недра 1990. 413 с.
- Дьяконов В.В., Котельников А.Е., Усова В.М. Эндогенные оруденения палеовулканических сооружений // Разведка и охрана недр. 2016. № 6. С. 25–27.
- Brinckmann J., Höhndorf A., Kreuzer H., Lenz H., Müller P. & Lehmann B. (1987). Some aspects of the post-orogenic Sn, W, REE mineralizations in the Kibaran belt, Burundi, East Africa. Abstr., 14th Coll. Afr. Geol., 18–22 August 1987, Techn. Univ. Berlin, Occas. Publ. 1987/12, 180.
- Ganzeev A.A. Composition, geological setting and metallogeny of Carbonatites. Ganzeev A.A. // Geodinamics and Metallogeny / Theory and Implication for Applied Geology. Moscow. 2000. P. 399–408.
- Geological map of Uganda 1:1 000 000. Geological Survey of Finland, GTK Espoo. 2014.
- Link K., Koehn D., Barth M., Tiberindwa J., Barifaijo E., Aanyu K. & Foley, S. (2010). Continuous cratonic crust between the Congo and Tanzania blocks in western Uganda International Journal of Earth Sciences = Geologische Rundschau 99, 1559– 1573.
- 1. *Geologiya i poleznye iskopaemye Afriki*. Uchebnik. Pod red. E.A.Dolginova. M., Nedra Publ., 1990, 413 p.
- D'yakonov V.V., Kotel'nikov A.E., Usova V.M. Endogennye orudeneniya paleovulkanicheskih sooruzhenij. *Razvedka i* ohrana nedr, 2016, no 6, pp. 25–27.
- Brinckmann J., Höhndorf A., Kreuzer H., Lenz H., Müller P. & Lehmann, B. (1987). Some aspects of the post-orogenic Sn, W, REE mineralizations in the Kibaran belt, Burundi, East Africa. *Abstr., 14th Coll. Afr. Geol.*, 18–22 August 1987, Techn. Univ. Berlin, Occas, Publ, 1987/12, 180.
- Ganzeev A.A. Composition, geological setting and metallogeny of Carbonatites. Ganzeev A.A. Geodinamics and Metallogeny. *Theory and Implication for Applied Geology*. Moscow, 2000, pp. 399-408.
- 5. Geological map of Uganda 1:1 000 000. Geological Survey of Finland, GTK Espoo, 2014.
- Link K., Koehn D., Barth M., Tiberindwa J., Barifaijo E., Aanyu K. & Foley S. (2010). Continuous cratonic crust between the Congo and Tanzania blocks in western Uganda International *Journal of Earth Sciences* = Geologische Rundschau 99, 1559-1573.

- Mäkitie H., Baglow N., Boger S., Data G., de Kock G., Elepu D., Härmä P., Jenett T., Koistinen T., Kyagulanyi D., Lehtonen M.I., Manninen T., Mänttäri I., Pokki, J., Schumann A., Westerhof A.B. & Virransalo P. (2011). Giant c. 1.37 Ga arcuate dolerite dyke swarm in SW Uganda. 23rd Colloquium of African Geology. 8–14. 2011, Johannesburg, South Africa. Abstract volume, p. 256.
- Pohl W. (1994). Metallogeny of the northeastern Kibara belt, Central Africa – Recent perspectives. Ore Geology Reviews, 9, 105–130.
- Pohl W. (2006). Metallogeny of the northeastern Kibaran belt, Central Africa. Geol. J., 22, (S2), 103–119.
- Westerhof A.V Phil et al. Uganda, ready for investment in mining. Geological survey of Finland • Special Paper 55. 2014. All GTK's publications online at hakku.gtk.fi. WWW.gtk.fi.
- Westerhof A.B., Pekkala Y. & Lehto T. (Editors) Baglow, N., Boger, S., Elepu, D., Härmä P., de Kock G.S., Koistinen T., Kuivasaari T., Kärkkäinen N., Lehtonen M.I., Manninen T., Mäkitie H., Schumann A. & Virransalo P. Explanation of the geology of sheet NA-36-13, 14, 15, SA-36-1, 2 1:250000. Final version. 2012.

#### REFERENCES

- Mäkitie H., Baglow N., Boger S., Data G., de Kock G., Elepu D., Härmä P., Jenett T., Koistinen T., Kyagulanyi D., Lehtonen M.I., Manninen T., Mänttäri I., Pokki J., Schumann A., Westerhof A.B. & Virransalo P. (2011). Giant c. 1.37 Ga arcuate dolerite dyke swarm in SW Uganda. *23rd Colloquium of African Geology*. 8–14. 2011, Johannesburg, South Africa, Abstract volume, 256 p.
- Pohl W. (1994). Metallogeny of the northeastern Kibara belt, Central Africa – Recent perspectives. Ore Geology Reviews, 9, 105–130.
- 9. Pohl W. (2006). Metallogeny of the northeastern Kibaran belt, *Central Africa. Geol. J.*, 22, (S2), 103–119.
- Westerhof A.V. Phil et al. Uganda, ready for investment in mining. Geological survey of Finland • Special Paper 55, 2014, All GTK's publications online at hakku.gtk.fi, WWW.gtk.fi.
- Westerhof A.B., Pekkala Y. & Lehto T. (Editors) Baglow N., Boger S., Elepu D., Härmä P., de Kock G.S., Koistinen T., Kuivasaari T., Kärkkäinen N., Lehtonen M.I., Manninen T., Mäkitie H., Schumann A. & Virransalo P. Explanation of the geology of sheet NA-36-13, 14, 15, SA-36-1, 2 1:250000, Final version, 2012.

УДК 553.981.2

# ВЫДЕЛЕНИЕ ПАЛЕОРУСЕЛ В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СРЕДНЕЮРСКОГО ВОЗРАСТА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «PETREL»

СУСЛОВ А.А.<sup>1,2</sup>, ВАЙНЕРМАН Б.П<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия e-mail: bwinerman@vandex.ru

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем нефти и газа Российской академии наук 3, Губкина ул., г. Москва 119333, Россия

e-mail: alexandr\_suslov@bk.ru

На Тазовско-Заполярном лицензионном участке (Тазовский район Ямало-Ненецкого АО) по материалам сейсмических исследований (3D) в песчано-глинистых отложениях среднеюрского возраста Ю, выделены русловые элементы, которые залегают на разных глубинах и имеют субмеридиональное простирание. Целью данной работы явилось изучение пространственного положения выявленных русловых элементов (палеорусел) и построения их с помощью программы «Petrel» (Schlumberger). Описана техника построения палеорусел в программе «Petrel». На основе полученных данных моделирования уточнены места увеличенных толщин коллекторов в зонах развития палеорусел и намечены зоны заложения новых поисковых скважин. В результате обработки сейсмических данных (3D) выделено три системы палеорусел, расположенных на разных гипсометрических отметках и приуроченных к пластам Ю2-2, Ю2-3 и Ю2-4. На основе корреляции разрезов скважин пласта Ю, выделены глинистые перемычки между предполагаемыми пластами и обозначены в разрезе пласты Ю<sub>2,2</sub>, Ю<sub>2,4</sub> и Ю<sub>2,4</sub>. Используя всю имеющуюся информацию и применяя программный комплекс компании Schlumberger «Petrel», было проведено структурное моделирование пласта Ю,. Применяя свойство «Литология» (принимает значения «неколлектор» – 0, «коллектор» – 1) созданы трехмерные модели палеорусел отдельно для пластов Ю2-2, Ю2-3 и Ю2-4. Созданные модели палеорусел внедрены в общий объем пласта Ю2. Ключевые слова: сейсмические исследования; геофизические исследования скважин; моделирование; поверхность; палеорусла.

https://doi.org/10.32454/0016-7762-2019-6-26-31

# ALLOCATION OF PALEOCHANNELS IN SAND-CLAY SEDIMENTS OF MIDDLE JURASSIC AGE IN PETREL SOFTWARE COMPLEX

ALEXANDR A. SUSLOV<sup>1,2</sup>, BORIS P. VAYNERMAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: bwinerman@yandex.ru

> <sup>2</sup>Oil and Gas Research Institute Russian Academy of Science 3, Gubkina St., Moscow 119333, Russia e-mail: alexandr\_suslov@bk.ru

On the Tazovsko-Zapolyarny licence block (Tazovsky district of Yamalo-Nenets Autonomous District), according to the materials of the seismic survey (3D) in sand-clay sediments of Middle Jurassic age  $U_2$ , the channel elements, which lie at different depths and have a submeridional extension, are identified. The purpose of this work was to study the spatial position of the identified channel elements (paleochannels) and to construct them using the Petrel (Schlumberger) program. The paleochannel building technique is described in the Petrel program. Based on the obtained modelling data, the locations of increased reservoir thicknesses in the areas of paleochannels development were specified and the areas of new prospecting wells were planned. As a result of the seismic data (3D) processing, three systems of paleochannels located on different hypsometric marks and associated with the  $U_{2-2}$ ,  $U_{2-3}$  and  $U_{2-4}$  beds are allocated. On the basis of the correlation of the well sections of the  $U_2$  bed, the clay bulkheads between the assumed beds are allocated, and the  $U_{2-2}$ ,  $U_{2-3}$  and  $U_{2-4}$  beds are marked in the section. The structural modelling of the  $U_2$  bed was carried out using all available information and the Schlumberger Petrel software complex. Using the «Lithology» property (takes the values «collector»–0, «collector»–1), the 3D models of paleochannels have been introduced into the total volume of the  $U_2$  bed.

Keywords: seismic surveys; geophysical studies of wells; modelling; surface; paleochannels.

26

\*Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.





Вопросам выделения палеорусел в отложениях тюменской свиты на территории Западной Сибири уделяется значительное внимание [7, 9, 10]. В данной работе этот аспект рассмотрен на примере одного из лицензионных участков.

Тазовско-Заполярый лицензионный участок расположен в заполярной части Западно-Сибирской равнины. В административном отношении входит в состав Тазовского района (районный центр — п. Тазовский), Ямало-Ненецкого АО (окружной центр — г. Салехард) Тюменской области.

Для обоснования мест заложения проектных поисковых скважин в рамках поисков залежей углеводородов [1] на данной территории [2, 6, 10], проведен анализ материалов сейсмических исследований и бурения.

В результате обработки сейсмических данных (3D) было выявлено пространственное расположение палеорусел на исследуемом участке (рис. 1) [9].

В настоящей работе использовались материалы сейсмических исследований (съемка 3D) [9] и результаты бурения, испытания и геофизических исследований (ГИС) в поисковых скважинах 112 и 125, пробуренных юго-восточнее рассматриваемого лицензионного участка и вскрывших отложения среднеюрского возраста.

На самом лицензионном участке не пробурено ни одной скважины, которая бы вскрыла отложения среднеюрского возраста Ю<sub>2</sub>.

В работе [9] в табл. 2.10 «Результаты испытания поисково-разведочных скважин на Заполярном, Тазовском и Тазовско-Заполярном ЛУ» указано, что в поисковой скв. 112 из среднеюрских отложений (пласт Ю2) получен газ дебитом 23 тыс. м<sup>3</sup>. В скв. 125 получен фильтрат бурового раствора (КИИ-95), то есть скважина практически не испытана.

По материалам сейсмических исследований (3D) на лицензионном участке выделяется три системы палеорусел, расположенных на разных гипсометрических отметках и приуроченных к пластам Ю<sub>2-2</sub>, Ю<sub>2-3</sub> и Ю<sub>2-4</sub>.

На основе данных ГИС в скв. 112 и 125 была выполнена корреляция разрезов скважин пласта Ю<sub>2</sub>.



Рис. 1. Структурная карта по кровле пласта Ю<sub>2</sub>. Выделение палеорусел с проектными поисковыми скважинами 95а и 99а: 1 – палеорусла пласта Ю<sub>2-3</sub>; 2 – палеорусла пласта Ю<sub>2-3</sub>; 3 – палеорусла пласта Ю<sub>2-4</sub>; 4 – проектные поисковые скважины; 5 – пробуренные поисковые скважины; 6 – индекс пласта





**Рис. 2. Корреляция разрезов скважин 125 и 112:** – интервал пласта Ю<sub>2-2</sub>; 2 – интервал пласта Ю<sub>2-3</sub>; 3 – интервал пласта Ю<sub>2-3</sub>



Рис. 3. Поверхности палеорусел пласта Ю<sub>2-2</sub>: 1 – граница лицензионного участка; 2 – граница модели; 3 – поверхности палеорусел; 4 – компас



Это позволило выделить глинистые перемычки между предполагаемыми пластами и обозначить в разрезе пласты Ю<sub>2-2</sub>, Ю<sub>2-3</sub> и Ю<sub>2-4</sub> (рис. 2) [3, 4, 8]. Корреляция проводилась по диаграммам гамма-каротажа, так как диаграммы ПС в данных скважинах неинформативны.

Используя результаты обработки сейсмических данных МОГТ 3D (структурная карта по кровле пласта Ю<sub>2</sub> (Тюменская свита) и интерпретации се-

диментационных срезов с выделением на них контуров палеорусел (рис. 1) [9], результаты испытания скважин, данные ГИС и корреляцию разрезов скважин (рис. 2), применяя программный комплекс компании Schlumberger «Petrel» [5], было проведено структурное моделирование пласта Ю<sub>2</sub>.

При моделировании использовались условные координаты, а трехмерные изображения представлены на рисунках в виде наглядных иллюстраций.



Рис. 4. Палеорусла пластов Ю<sub>2-2</sub>, Ю<sub>2-3</sub> и Ю<sub>2-4</sub>: 1 – тела палеорусел; 2 – скважины; 3 – компас



Рис. 5. Палеорусла пласта Ю<sub>2-2</sub>, внедренные в объем породы: 1 – палеорусла пласта Ю<sub>2-2</sub>; 2 – условный объем породы пласта Ю<sub>2-2</sub>; 3 – скважины; 4 – компас





**Рис. 6. Карта суммарных эффективных толщин пласта Ю**<sub>2</sub>: 1 – эффективные толщины; 2 – граница подсчета запасов; 3 – линия геологического профиля; 4 – скважины



Рис. 7. Геологический профиль по линии скв. 95а-99а-112: 1 – скважины; 2 – индекс пласта

Произведено оконтуривание палеорусел с помощь замкнутых полигонов. Далее были созданы поверхности, отражающие площадное распространение палеорусловых тел (рис. 3).

Используя свойство «Литология» (принимает значения «неколлектор» — 0, «коллектор» — 1) создаются трехмерные модели палеорусел отдельно для пластов  $W_{2-2}$ ,  $W_{2-3}$  и  $W_{2-4}$ . Каждая система палеорусел занимает свой уровень (зону) согласно схеме корреляции скв. 112 и 125 (рис. 2). Все палеорусела в формате 3D представлены на рис. 4.

Следующим этапом было внедрение созданных палерусел в модель общего объема пласта Ю<sub>2</sub>. На рис. 5 показан слой модели, соответствующий пласту Ю<sub>2-2</sub>.

- Бакиров А.А., Керимов В.Ю. и др. Теоретические основы поисков и разведки нефти и газа / Под ред. Э.Ф. Бакирова и В.Ю. Керимова: Учебник для вузов в 2-х кн. М.: ООО «Издательский дом Недра», 2012. 416 с.
- Барабошкин Е.Ю. Практическая седиментология. Терригенные резервуары. Пособие по работе с керном. Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2011. 152 с.
- Гутман И.С., Саакян М.И. Методы подсчета запасов и оценки ресурсов нефти и газа. М., ООО «Издательский дом Недра», 2017, 366 с.
- Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. Петрофизика (Физика горных пород): Учеб. для вузов. 2-ое изд. М.: ФГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004, 368 с.
- Закревский К.Е. Практикум по геологическому 3D моделированию. Построение тестовой модели в Petrel 2009. М., 2010. 110 с.
- Киричкова А.И. Особенности литологии континентального триаса Западной Сибири. Нефтегазовая геология. Теория и практика. Москва, 2011. Т. 6.

На заключительном этапе работ была построена модель песчано-глинистых отложений пласта Ю<sub>2</sub>, содержащая сведения о коллекторах и неколлекторах на исследуемой площади). Свойство «Литология» преобразовали в свойство «Песчанистость» (Net/Gross). Последнее использовали для построения карт суммарных эффективных толщин пласта Ю<sub>2</sub> (как сумма пластов Ю<sub>2-2</sub>, Ю<sub>2-3</sub> и Ю<sub>2-4</sub>). Карта суммарных эффективных толщин пласта Ю<sub>2</sub> и геологический профиль по линии скв. 95а-99а-112 представлены на рис. 6 и 7.

Проведенное моделирование позволило пространственно представить распространение сложнопостроенных коллекторов в объеме породы и наметить места заложения поисковых скважин в зоны с повышенными эффективными толщинами.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Кирьянова Т.Н., Кирзелва О.Я., Копенкин Р.Ю., Кляжников Д.В. (ООО «Индженикс Груп»), Бронскова Е.И. (ООО «ЛУКойл Инжиниринг»). Методика выделения палеорусел в тюменской свите с использованием технологии спектральной декомпозиции. 7-я Санкт-Петербургская Международная конференция и выставка – Понимание гармонии ресурсов Земли через интеграцию наук о Земле, Санкт-Петербург, Россия, 11–14 апреля 2016 г.
- Латышова М.Г., Мартынов В.Г., Соколова Т.Ф. Практическое руководство по интерпретации данных ГИС: Учеб. пособие для вузов. М., ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007, 327 с.
- Отчет «Дополнение к проекту поисков залежей УВ в пределах Тазовско-Заполярного лицензионного участка на основе МОГТ 3D». ООО «Газпромгеологоразведка», ОАО «Газпром». Тюмень, 2014.
- Сейсмическая стратиграфия. Использование при поисках и разведке нефти и газа. Часть 1.Том 1. МИР, Москва, 1982 г., 375 с.

#### REFERENCES

- Bakirov A. A., Kerimov V. Yu. and others. Theoretical bases of search and exploration of oil and gas. Ed. E.F. Bakirov and V.Yu. Kerimov: Textbook for universities in 2 books. Moscow: LLC «publishing house Nedra», 2012, 416 p. (In Russian).
- Baraboshkin E.Yu. Practical sedimentology. Clastic reservoirs. Manual on working with Kern. Tver: LLC «Publishing house GERS», 2011, 152 p. (In Russian).
- Gutman I.S., Sahakyan M.I. Methods of reserves calculation and estimation of oil and gas resources. Moscow, NEDRA Publishing house, 2017, 366 p. (In Russian).
- Dobrynin V.M., Wendelstein B.Yu., Kozhevnikov D.A. Petrophysics (Physics of rocks): Proc. for universities. 2nd ed. Moscow: FSUE Publishing house «Oil and gas» Russian state University of oil and gas. I.M. Gubkina, 2004, 368 p. (In Russian).
- 5. Zakrevsky K.E. Workshop on geological 3D modeling. Building a test model in Petrel 2009. M., 2010, 110 p. (In Russian).
- Kirichkova A.I. Features of lithology of continental Triassic of Western Siberia. Neftegazovaya Geologiya. Theory and practice. Moscow, 2011, T. 6. (In Russian).
- Kiryanova, T.N., Kiseleva O.I., Kopenkin, Y.R., Klashnikov D.V. (LLC «Endzhiniks Group»), Bronskov E.I. (OOO «LUKOIL-Engineering»). The method for mapping paleochannels in Tyumen Suite using the technology of spectral decomposition. 7th St. Petersburg international conference and exhibition-Understanding the harmony of Earth resources through integration of Earth Sciences, St. Petersburg, Russia, April 11–14, 2016. (In Russian).
- Latyshova M.G., Martynov V.G., Sokolova T.F. Practical guide to the interpretation of GIS data: Studies. the manual for high schools. M., LLC «Nedra-Biznestsentr», 2007, 327 p. (In Russian).
- Report «Supplement to the project for searching for hydrocarbon deposits within the Taz-polar license area based on the 3D MOT». OOO «Gazprom Geologorazvedka», OAO «Gazprom». Tyumen, 2014. (In Russian).
- 10. The seismic stratigraphy. Use in oil and gas exploration. Part 1. Volume 1. MIR, Moscow, 1982, 375 p. (In Russian).



# Москва



Краснопресненская набережная, 14 ЦВК «Экспоцентр», павильон № 7

31 марта – 2 апреля

# Всероссийский форум-выставка



Изучение. Разведка. Добыча

ΗΕΔΡΑ

ОРГАНИЗАТОР ФОРУМА:



Федеральное агентство по недропользованию Российской Федерации

## КЛЮЧЕВЫЕ ВОПРОСЫ ФОРУМА-ВЫСТАВКИ:

- Вклад геологов в Победу в Великой отечественной войне 1941-1945 гг.;
- Региональное геологическое изучение недр как основа воспроизводства минерально-сырьевой базы России;
- Основные тренды развития в области поисков, разведки и добычи полезных ископаемых;
- Разведка, добыча трудноизвлекаемых и нетрадиционных запасов углеводородного сырья;
- Современные технологии использования и разработки отходов недропользования;
- Цифровизация государственных услуг в области недропользования;
- Меры стимулирования поисков месторождений полезных ископаемых.
  Государственно-частное партнёрство в сфере недропользования;
- Подготовка и переподготовка кадров геологической отрасли.

www.nedra2020.ru тел. +7 (977) 524 1721 тел. +7 (913) 324 3848





УДК 553.411



# ЛОКАЛИЗАЦИЯ РУД ЗОЛОТА В РАЗЛОМАХ РАЗНЫХ ТИПОВ

### E.M. HEKPACOB

ФГУНПП «Аэрогеология», ИАЦ «Минерал» 8, стр. 2, Академика Волгина ул., г. Москва 117997, Россия e-mail: necrasov@mineral.ru

Излагаются результаты авторских и обобщающих работ отечественных и зарубежных геологов, изучавших размещение крупных и крупнейших золоторудных месторождений в зонах разломов, отличающихся строением рудоносных зон и сосредоточением в них запасов руд и золота различного масштаба. Рассмотрены главные причины таких различий. Наиболее протяжённые разломы на нашей планете — региональные сдвиги. Они непрерывно прослежены на сотни и многие сотни (до 1400) километров вдоль границ золотоносных поясов и провинций. Однако золоторудные месторождения локализованы в их зонах на чрезвычайно ограниченных («точечных») интервалах, не превышающих 3—5 км. Они всегда заключены между древними поперечными или косоориентированными разрывами глубокого, скорее всего мантийного заложения и проникновения. Во всех оруденелых разломах золоторудные тела локализуются в различных геологоструктурных ловушках, которые рассмотрены в статье и отражены на планах и разрезах. Узлы пересечения региональными сдвигами, а также взбросами и сбросами поперечных разломов (и дислокаций), выступают главными перспективными объектами при поисках и разведке месторождений. Очевидно, подобные узлы следует считать прямыми признаками возможного проявления руд золота. В качестве примера приводится детально изученное автором и другими геологами внутреннее строение мирового лидера — золотоносного Мурунтаусского (Северо-Восточного) локального сдвига (Узбекистан).

Ключевые слова: региональные и локальные сдвиги; взбросы; сбросы; месторождения; разрывы; руды золота. https://doi.org/10.32454/0016-7762-2019-6-33-43

# LOCALISATION OF GOLD ORES IN FAULTS OF DIFFERENT TYPES

#### EVGENIY M. NEKRASOV

Aerogeology Federal state unitary enterprise, Mineral IAC 8, p. 2, Akademika Volgina str., Moscow 117997, Russia e-mail: necrasov@mineral.ru

The results of the author's and general works of domestic and foreign geologists, who studied the location of the largest gold deposits in fault zones, characterised by the structure of ore-bearing zones and the concentration of reserves of ores and gold of different scale in them, are presented. The main reasons for such differences are considered. The longest faults on our planet are regional shifts. They are continuously traced for hundreds (up to 1,400) of kilometres along the boundaries of gold-bearing belts and provinces. However, gold ore deposits are located in their zones at extremely limited (point) intervals not exceeding 3-5 km. They are always enclosed between ancient transverse or oblique-oriented fractures of deep, most likely mantle, formation and penetration. In all mineralised faults, gold ore bodies are localised in various geological and structural traps, which are considered in the article of transverse faults (and dislocations), act as the main promising objects in the deposits search and exploration. Obviously, such nodes should be considered as direct signs of the possible evidence of gold ores. The internal structure of the world leader, gold-bearing Muruntaussky (North-East) local shift (Uzbekistan), studied in detail by the author and other geologists, is given as an example.

Keywords: regional and local shifts; overfaults; faults; deposits; fractures; gold ores.

Крупнейший знаток рудных месторождений, геолог-исследователь В.М. Крейтер [8] выделил группу промышленно важных типов золоторудных месторождений, имеющих главное, основное экономическое значение. Он совершенно обоснованно считал, что типы месторождений различаются либо неодинаковой прочностью, хрупкостью рудовмещающей среды и неодинаковыми условиями образования залечивающихся рудой трещинных полостей, либо различным реакционным взаимодействием компонентов среды с компонентами поднимающихся золотосодержащих растворов и сопутствующих им газов и флюидов, либо тем и другим. Современные исследования показали [10], что подавляющее большинство крупных и крупнейших месторождений — 18 из известных 70 (с запасами более 300 т благородного металла и, в том числе, месторождений-гигантов с запасами более 1000 т) размещаются в зонах разломов как регионального, так и локального типов.

Как правило, зоны разломов представлены несколькими полосами сближенных расщепляющихся и вновь соединяющихся маломощных (доли метра или метры) зон мелкодробленой породы, участками сменяющейся умеренно- и крупнодробленой породы, которые пересечены разрывами [17]. Часть их вмещает руды золота. Зоны дробления обычно заключены между двумя субпараллельными (пограничными) тектоническими плоскостями висячего и лежачего бока. Раздробленные образования местами переходят в развальцованную и рассланцёванную, будинированную породу с оруденелыми зонками складок волочения или сменяются сухой окварцованной, иногда также хлоритизированной глинкой трения. Все эти трешинные образования в различных комбинациях охватывают тектонически нарушенную породу между упомянутыми главными пограничными сместителями висячего и лежачего боков [17]. Некоторые наиболее благоприятные комбинации для локализации руд золота выступают геолого-структурными ловушками и вмещают руды и месторождения золота [1, 2, а также 12, 13].

В литосфере зоны региональных рудоносных сдвигов являются наиболее протяжёнными разломами [15]. Они непрерывно прослеживаются на многие сотни километров, например, вдоль складчатых и глыбово-складчатых поясов Кордильер и Анд Тихоокеанского рудного кольца, вдоль геопостроек Азиатского континента, вдоль северного и западного побережий Африки, в складчатых постройках Австралии, Чукотки и Аляски. Самый большой из них — Главный Филиппинский сдвиг — простирается на северо-запад, начиная от южного побережья о. Минданао вплоть до побережья Тихого океана по всем восточным островам Филиппинского архипелага на протяжении 1400 км [14]. Три полосы региональных сдвигов северо-западного направления, обрамляющих с востока и запада Западно-Австралийский щит, непрерывно прослежены на 400-600 км [3, 26]. Развитые в зоне этих нарушений крупные золоторудные месторождения Леонора, Вилуна, Мензиес, гигант Калгурли, Паддингтон, Сент-Айвс (Камблда), Норсмен и другие, обнаруживаются только на расстоянии 50-70 и более километров друг от друга. Рудоносные участки их используют короткие (не более 3-5 км) интервалы сдвигов и образуются при пересечении поперечных и кососекущих нарушений рудоконтролирующими разломами и дислокациями обычно древнего заложения.

Региональные и локальные сдвиги, пересекающие кососекущие и поперечные разломы и дислокации, образуют в области пересечения колонну наиболее тектонически деформированных пород, погружающуюся в нижние уровни литосферы, и местами, видимо, достигающую мантийного вещества. Подобные узлы пересечений выступают наиболее перспективными участками для поисков скрытых (не выходящих на дневную поверхность) золоторудных тел и месторождений [24] (см. с. 10, рис. 3).

В этом отношении очень интересен пример размещения золотосеребряных месторождений, развитых в пределах Мексиканского рудного пояса [4, 9, 15]. Пояс тянется от границ западно-тихоокеанских глыбово-складчатых структур (и южной границы США) в юго-восточном направлении на расстояние более 200 км, как показано на схеме (рис. 1). Месторождения локализуются в пределах узких зон региональных сдвигов, протяженных продольно в осложняющихся ими глыбово-складчатых структурных постройках. Они сложены вулканитами позднемезозойского и кайнозойского возрастов. Всего прослежено 5 региональных субпараллельных сдвигов, протягивающихся на расстоянии 15–20 км один от другого.

Простираясь на юго-восток, сдвиги пересекают и местами смещают три полосы поперечных или косоориентированных (относительно сдвигов) северо-западных дорудных разрывов, видимо, более древнего заложения. Эти субпоперечные нарушения прослеживаются начиная от восточного побережья Мексиканского залива до активных окраинно-континентальных складчатых поясов западно-тихоокеанского побережья. Располагаются такие полосы субпоперечных разрывов на расстоянии 35-40 км одна от другой. Только на таком расстоянии между ними во всех пяти региональных сдвигах в узлах пересечения размещаются рудопроявления и месторождения золотосеребряных руд. В частности, второй и третий региональные сдвиги (считая на восток от тихоокеанского побережья) вмещают руды таких хорошо известных золотосеребряных месторождений, как Фреснильо, Сакатекас, Потоси, Гуанахуата и др. (рис. 1). Руды локализуются либо в сдвигах, либо в узлах, пересекаемых ими субпоперечных разрывов.

Впечатляет также аналогичная позиция золотосеребряных эпитермальных и золото-меднопорфировых месторождений Канады в расположенной севернее золотоносной провинции Британская Колумбия [4, 7, 14, 15]. Здесь месторождения локализуются в рудных узлах пересечения региональными север-северо-западными сдвигами поперечных взбросо-сдвиговых дислокаций [4, 5]. Под ними Ф.Б. Кинг понимал все типы нарушений наряду с широтными разломами в Тихоокеанской океанической плите и их «следов» на континентальной Северо-Американской плите. В самой северной





Рис. 1. Размещение золотосеребряных месторождений в глыбово-складчатых и складчатых геопостройках Мексиканского рудного пояса (по данным Экономической карты Мексики, изданной Моск.институтом геодезии и картографии: М.1985). Буквой М обозначена столица страны – Мехико. 1 – поперечные и кососекущие рудоконтролирующие трещинные нарушения глубокого и мантийного проникновения и их предполагаемые фланги и продолжения; 2 – региональные продольные, местами рудовмещающие разломы – сдвиги; 3 – золотосеребряные месторождения: а – крупные и δ – рядовые, их названия под номерами: 1 – Франциско-дель-Оро, 2 – Санта-Барбара, 3 – Сан-Луис, 4 – Дуранго, 5 – Фреснильо, 6 – Сакатекас (рудный узел), 7 – Потоси (рудный узел), 8 – Пачука (рудный узел), 9 – Сьюдад, 10 – Гуанахуата, 11 – Кананеа (рудный узел), 12 – Чиуауа (рудный узел

полосе дислокаций, проявленных в геопостройках хребта Скалистых гор, размещаются крупнейшие и крупные близповерхностные золотосеребряные месторождения Эскей-Крик, Скакум-Витон-ривер, Поларис-Такю, Тудогон и др., а также сопутствующие им крупные и хорошо известные золото-меднопорфировые месторождения Кемесс-Саут и Норт, Галор-Крик, Маунт-Миллиган и другие. В следующей зоне поперечных дислокаций, находящейся на 400-450 км юго-восточнее, разведаны золотосеребряные месторождения Карибу-Голд, Джуно, Кварц-Риф и золотосодержащие меднопорфировые Джибралтор, Маунт-Полли; в третьей, южной полосе (вблизи границы с США) — золотосеребряные Брелорн, Росленд, Афтон и месторождения золото-меднопорфировых руд.

Можно также привести пример хорошо известного отечественного рудоносного Тенькинского регионального разлома (Колымо-Чукотская золотоносная провинция, Восточная Якутия [6, 10]). На его крайнем северо-западном фланге развито крупнейшее месторождение золото-прожилкововкрапленных руд Дегдекан, затем, юго-восточнее, после безрудного интервала (более 12—15 км) — месторождение-гигант Наталкинское, протягивающееся полосой маломощных жил, прожилков и



преобладающей рудной вкрапленности почти на 5 км. Далее, после следующего безрудного интервала (примерно 7—8 км), находятся развитые вкрапленно-прожилковые руды месторождения Павлик (с запасами более 250 т золота). Все названные месторождения в зоне Тенькинского регионального сдвига размещаются только на участках, протяженных между субпоперечными широтными или запад-северо-западными (Геологический и Глухариный разломы на Наталкинском месторождении), дорудными и местами золотосодержащими зонами дробления.

Таким образом, в пределах очень коротких («точечных») интервалов разломов (и в частности — сдвигов), в узлах пересечения ими субпоперечных разломов (и дислокаций), там, где от зон дробления отделяются протяжённые боковые ветви, а мощность зон дробления существенно возрастает, в пределах их (см. рис. 2) обнаруживаются две системы диагональных соединительных разрывов (связывающих тектонические поверхности висячего и лежачего бока разломов) и система продольных трещинных нарушений под экранирующей тектонической поверхностью висячего бока. Указанные разрывы являются также трещинообразующими нарушениями и сопровождаются своими боковыми оперяющими сколами и отрывами, а местами — пучками таких разрывов-апофиз. Вдоль большинства указанных разрывов в раздувах зон дробления (например, региональных сдвигах) обнаруживаются золоторудные тела преимущественно прожилковых, жильных и штокверковых сравнительно богатых руд, которые увеличивают среднее содержание золота во вкрапленных рудах зон дробления. Поэтому при оконтуривании в них золоторудных тел по низким бортовым содержаниям золота удаётся выделить золоторудные тела большой и очень большой мощности — в десятки и сотни метров. С.И. Шерман, К.Ж. Семинский и другие предполагают, что подобные системы разрывов, подвергшиеся оруденению, могли формироваться в результате проявления эффекта pullapart zone [16, 17].

Такие известные зарубежные геологи, как В. Линдгрен [9], В. Эммонс [21], и отечественные геологи, например, В.Е Хаин [18], а также С.Д. Шер в своём двухтомнике [14], М.М. Константинов [6] и многие другие подтвердили, что



**Рис. 2. Типовое внутреннее строение зоны рудоносного сдвига:** А-план, Б- разрез. Рудовмещающие породы: *I*- нередко проявленные гранитоиды; *2* – прочие породы висячего бока; *3* – жильные породы, преимущественно порфиритовые; *4* - главные тектонические поверхности висячего и лежачего бока разлома, соединительные и прочие разрывы, обозначенные более коротким штрихом; *5* – жильные, линзообразные, прожилковые и штокверковые золоторудные тела сравнительно богатых руд; *6* – вкрапленность рудных (в том числе золотосодержащих) минералов, сопровождающихся тонкими включениями золота: *a* – обильная, *б* – рядовая


золотоносные интервалы, участки региональных сдвигов и месторождения золота в них заключены исключительно между более ранними зонами поперечных или косоориентированных трещинных нарушений и дислокаций. По-видимому, это нарушения глубокого, скорее всего, мантийного проникновения.

Создаётся впечатление, что, по крайней мере, в зонах активных окраин континентов, в островных дугах, в пограничных зонах щитов и кратонов, вдоль границ мегагеопостроек прослеживаются системы продольных (по отношению к постройкам) субпараллельных региональных сдвигов и взбросо-сдвигов, контролирующих размещение месторождений золота. Расстояния между такими субпродольными региональными рудоконтролирующими разломами колеблются от нескольких километров (например, в районах месторождений Паскуа-Лама и Эль-Индио, Южно-Американские Анды, см. [10], с. 159, рис. 66, а также [19, 20, 22, 24, 25]), до 50—60 км вдоль границ щитов и кратонов.

Основываясь на этих материалах, автор считает возможным признать, что в пределах региональных сдвигов рудообразование охватывало только отдельные изолированные (автономные) и короткие («точечные») участки очень протяжённых нарушений. Они характеризовались преобладающими не сдвиговыми, а локальными (автономными) вертикальными движениями типа взбросов (при преобладающих условиях общего сжатия) или сбросов (при растяжении, расширении тектонически деформировавшегося пространства). По представлению автора, только такие типы перемещений пород (или мантийных масс), примыкающих к главным сместителям, могли «взломать» на сравнительно большой глубине кровлю материнских интрузий в астеносферном «языке» мантии, заключающем золотосодержащий раствор.

Имеется много примеров месторождений, характеризующихся подобными автономными внутрирудными перемещениями в пределах очень ограниченных участков протяжённых региональных сдвигов. Думается, что наиболее убедительными будут крупнейшие золоторудные месторождения и месторождения-гиганты. Выше автор уже упоминал, что в зоне Тенькинского регионального сдвига (Якутия) оруденение на Наталкинском месторождении-гиганте, и юго-восточнее — на месторождении Павлик (более 250 т золота) протекало в процессе преобладающих автономных взбросовых перемещений в зоне рудоносного разлома. Северный фланг Наталкинского месторождения в узле пересечения сдвиговой зоной поперечного Геологического разлома оказался детально откартированным ([10], рис. 13, план и разрез). Исходя из взаимоотношения рудоносных разрывов, геологами признано, что оруденение протекало на фоне автономных внутрирудных взбросов и сдвиго-взбросов.

Аналогичные примеры известны и за рубежом. Одним из них является гигантское месторождение Калгурли в Западно-Австралийском щите, которое развито к северо-западу от узла пересечения региональным разломом-сдвигом Боулдер-Лефрой поперечного разлома Аделаида (см. [10], с. 82-84, рис. 29 и 30). Другие примеры — крупнейшее месторождение Голд-Кворри в узле пересечения сдвиговой зоной Гуд-Хоуп поперечного разлома Голд-Кворри с серией взброшенных и подвергшихся оруденению блоков наиболее древних в районе (США, шт. Невада) глинистых силурийско-девонских известняков (с. 174, рис. 75); субвертикальные «сбросовые» жилы (меридианального направления) на месторождении-гиганте Ашанти (Обуаси) в поперечном перегибе региональной северо-восточной сдвиговой зоны рассланцевания Престеа-Ашанти в Гане (Юго-Западная Африка, см. с. 62-68); узел пересечения разломов-сдвигов Ла-Кинуа и Тапада поперечными разрывами на месторождении-гиганте Янакоча в Перу [23]; а также «точечные» внутрирудные взбросы на оруденелых участках месторождений Гуанахуата и Потоси (см. рис. 1) в Мексике и пр. Оруденелые участки сдвигов всюду характеризуются резкими перегибами главных сместителей, от которых в зоны дробления отделяются системы соединительных трещинных нарушений, подвергающихся оруденению. Оказалось также, что они выступают и в качестве трещинообразующих разрывов, ответвляющихся от них своих оперяющих боковых отрывов и сколов, связывающих в разломах главные сместители висячего и лежачего боков в единую трещинную систему.

В результате на оруденелых участках от таких «стыковок» внутрь зон разломов отделяются довольно многочисленные пучки *соединительных разрывов*. Как показано на схеме (рис. 2), соединительные нарушения сопровождаются прожилками-апофизами, залечивающими мелкие боковые, но многочисленные оперяющие сколы. Кроме того, они нередко сопровождаются полосами мелкой и тонкой метасоматической вкрапленности пирита, арсенопирита, халькопирита, блёклых руд и других рудных минералов. Со многими из них ассоциируются мелкие и мельчайшие включения и «зёрнышки» собственно золота, а на близповерхностных месторождениях — теллуридов и сульфосолей золота и серебра.

В отличие от региональных, локальные разломы-сдвиги выступают, как правило, трещинными

нарушениями высоких порядков. Они отличаются умеренной мощностью. Масштабные золоторудные тела локализуются во внутриразломной зоне, в нескольких системах трещин и маломощных зон дробления (рис. 2). Обычно удается обнаружить две системы таких оруденелых нарушений: 1 — простирающихся почти вдоль главных сместителей субпродольных разрывов, но падающих (погружающихся) в обратном направлении; и 2 — смещающих их крутопадающих разрывов, косо и почти поперечно-ориентированных к главным сместителям. Последние разрывы преимущественно выступают нарушениями, соединяющими сместители. Обе системы разрывов, как отмечалось, являются и трещинообразующими разрывами [17] (см. с. 10, рис. 3).

Наиболее интересная геолого-структурная обстановка иногда наблюдается на флангах локальных сдвигов и взбросо-сдвигов. В такой обстановке главные сместители (особенно висячего бока) затухают, расщепляются и при этом сопровождаются многочисленными пучками сближенных рудоносных боковых оперяющих сколов.

Примером таких локальных сдвигов может служить Северо-Восточный или Мурунтаусский сдвиг на одноимённом месторождении — мировом лидере по запасам золота. По наблюдениям автора [11] и других геологов, оруденелый северо-восточный фланг этого месторождения и рудоносного разлома-сдвига на протяжении более километра сопровождается непрерывной полосой, состоящей из пучков оперяющих оруденелых сколов северо-восточного и восток-северо-восточного простирания. Они погружаются под углами 60-75° на юго-восток (рис. 3). Эти сколы соединительного типа залечены рудными золото-шеелит-кварцевыми и золото-пирит-арсенопирит-кварцевыми прожилками, сопровождающимися мелкими и тонкими вкраплениями рудных минералов и золота. Участки таких штокверковых руд чередуются с прожилковыми и вкрапленными [10, 11].

Мурунтаусский (Северо-Восточный сдвиг) вмещает большую часть запасов руды и золота на месторождении (с извлечённым металлом — около 4000 т). Сдвиг развился в однородной мощной



Рис. 3. Мировой лидер - месторождение Мурунтау (Узбекистан). Внутреннее строение зоны рудоносного Северо-Восточного (Мурунтаусского) разлома и примыкающих территорий: *a* − план, *б* − разрез по линии A–Б. *I* − толща переслаивающихся слюдистых алевролитовых, аргиллитовых, глинистых и филлитовых сланцев с прослоями песчаника (поздние нижнепалеозойские породы); *2* − дайки кварц-диорит-сиенитовых порфиритов (породы позднего палеозоя); *3*−*6* − трещинные нарушения позднего палеозоя: *3* −разломы, в том числе, локальный Северо-Восточный (СВ) сдвиг с главными сместителями висячего бока (Вб) и лежачего бока (Лб); *4* − основной ограничитель оруденения висячего бока сдвига (Во); *5* − сравнительно сосредоточенные дорудные разрывы (в том числе, соединительные, связывающие сместители висячего и лежачего боков рудоносного Северо-Восточного сдвига; *6* − прочие дорудные разрывы, в том числе зоны мелкой трещиноватости; *7* − массивные золоторудные жилы богатых руд арсенопирит-пирит-шеелит-кварцевого состава, залечивающие трещины отрыва (сдвиго-раздвиги), оперяющие Северо-Восточный рудоносный сдвиг; *8* − золоторудная вкрапленность, главным образом, арсенопирит-пиритового состава: *a* − обильная, *б* − рядовая



толще переслаивания слюдистых алевролитовых, аргиллитовых, глинистых и филлитовых сланцев с прослоями песчаника. Перечисленные породы датируются ранним нижним палеозоем. Основные запасы руд и золота в сдвиге и сопровождающих разрывах оказались сосредоточенными на его интервале, протягивающимся в 2,0—3,6 км к северо-востоку от Южного разлома.

В пределах главного рудоносного интервала оруденение, как отражено на рис. 3, размещается между двумя главными сместителями — висячего и лежачего бока. Между ними оказалась развитой внутриразломная зона, мощностью от 70—80 м в начале и до 220 м на северо-востоке. В пределах внутриразломной зоны оказались сформированными 2 системы оруденелых разрывов, соединяющих поверхности главных сместителей: 1 — разрывы восток-северо-восточного субширотного направления с падением 70-80 градусов в южные румбы; и 2 — *продольные* (по отношению к сместителю висячего бока) зоны мелкой трещиноватости север-северо-восточного субмеридианального простирания, круто падающие на запад. Разрывы первого направления как бы разделили зону сдвига на чередующиеся и круто погружающиеся пластины деформированных и оруденелых пород, рассечённых мелкой трещиноватостью. В пределах пластин локализовались маломошные и тонкие (до волосовидных) прожилки золото-арсенопирит-пирит-шеелитового состава. слагающие штокверковые и прожилковые тела, окаймлённые вкрапленностью золотосодержащих сульфидов и включениями тонкого золота. Вдоль сместителя висячего бока (на рис. 3 — Вб), кроме того, на протяжении почти километра развилась непрерывная полоса оруденелых боковых оперяющих



**Рис. 4. Типовое внутреннее строение зон рудоносных взбросов:** А – план, Б – разрез. *1* – терригенные, песчанико-глинисто-сланцевые, сланцевые, карбонатные, вулканогенные, метаморфические и другие смещённые породы висячего бока; *2* – нередко гранитоидные породы лежачего бока; *3* – дайки и малые штоки интрузивных и субвулканических пород; *4* – трещинные нарушения главных сместителей; *5* – подчинённые им разрывы, в том числе соединительные; *6* – прочие мелкие разрывы; *7* – золоторудные тела жильного, прожилкового, линзообразного и штокверкового типа со сравнительно богатыми рудами; *8* –вкрапленность рудных минералов (в том числе золотосодержащих) и тонкие включения минералов золота и серебра: *a* – обильная, *б* – рядовая



**Рис. 5. Типовое внутреннее строение зон рудоносных сбросов:** А – план, Б – разрез. *1* – рудовмещающие породы; 2 – дайки и малые штоки интрузивных и субвулканических пород; 3 – тектонические поверхности главных сместителей; 4 – прочие, в том числе соединительные разрывы; 5 – жильные, линзообразные, прожилковые тела богатых руд; 6 – вкрапленность рудных, в том числе золотосодержащих минералов: *а* – обильная, *б* – рядовая

сколов, в связи с чем мощность рудного тела на фланге сдвига выросла до 500 м, а местами и более. В разрезе (рис. 3, б) большая часть оруденелых пластин внутриразломной зоны, как бы кулисообразно сменяя друг друга, достигает поверхности сместителя лежачего бока (на рис. 3, б — Лб). Оруденелые пластины и руда в целом прослеживаются в разрезе до глубин около 2 км от современной поверхности (рис. 3, б).

При проявлении локальных золотоносных взбросов или взбросовых перемещений в изолированных, очень непротяжённых участках региональных разломов, руды золота используют сравнительно выположенные перегибы пограничной тектонической поверхности лежачего бока (рис. 4). Нередко она является контактовой зоной гранитоидных массивов (например, на Зун-Холбинском месторождении, Россия, или на Крипл-Крике в США). Иная структурная обстановка в оруденелых локальных сбросах. В случае их проявления наиболее подвижными и оживляющимися в зонах разломов выступают трещинные нарушения, тяготеющие к пограничным тектоническим поверхностям лежачего бока, либо к полосе нередко проявленных в зонах сбросов даек и штоков малых интрузивов (рис. 5). Особенно перспективны участки крутопадающих перегибов тектонических поверхностей лежачего бока разломов, где скапливаются прожилковые тела вдоль боковых (местных) сколов, оперяющих соединительные разрывы. При этом обильная рудная вкрапленность (с золотом) охватывает не только погруженные породы в зоне разломов, но и тела даек и штоков.

#### Заключение

Изложенные материалы позволяют сделать следующие выводы.

1. Золоторудные месторождения различных типов, особенно с крупными и крупнейшими (бо-



лее 300 т) запасами благородного металла, обычно размещаются в зонах разломов, характеризующихся довольно закономерным внутренним строением их зон и направлениями перемещений в период оруденения.

2. Наиболее протяжёнными нарушениями на нашей планете выступают региональные сдвиги, непрерывно прослеживающиеся на сотни и даже многие сотни километров по границам золотоносных поясов и провинций. Однако участки золоторудных месторождений в их зонах занимают только короткие («точечные») интервалы, не превышающие 3—5 км. Они чередуются с протяженными безрудными интервалами, вытягивающимися на 60—80 км и более. При меньшей протяжённости региональных сдвигов длина безрудных интервалов сокращается до первых десятков километров и километров.

3. Рудоносные участки и месторождения в зонах региональных сдвигов размещаются между субпоперечными трещинными нарушениями и дислокациями древнего заложения, а также, глубокого, возможно мантийного, проникновения.

4. В региональных сдвигах в период оруденения, в узлах пересечения субпоперечных разломов и дислокаций скорее всего происходили не сдвиговые, а взбросовые (в обстановке общего сжатия) или сбросовые (в обстановке растяжения) перемещения. Зоны пересечений, погружающиеся на глубину, служили рудоподводящими каналами для локализующихся выше руд. Корни продольных и поперечных нарушений (особенно контактового типа) могли проникать вплоть до кровли материнских интрузий и провоцировать рудообразующий процесс. Аналогичная ситуация характеризовала и непротяжённые локальные нарушения, обычно выступающие боковыми рудоконтролирующими ветвями протяжённых разломов.

5. В региональных и локальных сдвигах, во взбросах и сбросах золоторудные зоны и рудные тела преимущественно локализуются во внутризонных разрывах — в двух системах соединительных нарушений, связывающих пограничные тектонические поверхности сместителей висячего и лежачего бока, и в продольных разрывах под экранирующей поверхностью сместителя висячего бока, а также и на выположенных перегибах лежачего бока, в различных комбинациях трещин, образующих разнообразные структурные ловушки. В пределах ловушек, типовая обстановка размещения которых приведена, происходила локализация золоторудных тел.

6. Наиболее перспективными главными среди благоприятных структурных позиций для поисков и разведки скрытых золоторудных месторождений выступают участки (узлы) пересечения субпоперечных разломов и дислокаций. К ним необходимо относить не только поперечные дорудные разломы, но и грабенообразные впадины, границы резкой смены пород, непротяжённые поперечные складки и флексуры, резкие прямолинейные окончания магматических тел и прочие геологические элементы. Особенно перспективны узлы пространственного совмещения контактных зон разломов с выходами кварц-диорит-порфиритовых, гранодиорит-порфировых и других гранитоидных пород (при поисках глубокосформированных руд) или андезит-риолит-гранодиоритовых образований (при поисках близповерхностных руд). Обнаружение любых минеральных проявлений (включая метасоматиты), должно быть заверено буровыми скважинами, так как «кровля» скрытых промышленных рудных тел может располагаться на глубине всего в десятках — первых сотнях метров от древней палеоповерхности, а при слабой эрозии, и от современной поверхности.

7. Из приведенного материала следует важнейший вывод — узлы пересечения поперечных разломов и геологических дислокаций следует рассматривать в качестве *прямых поисковых признаков возможной локализации скрытых руд золота.* 

Автор надеется, что учёт рассмотренных и наиболее часто обнаруживаемых структурных ловушек и обстановок размещения золоторудных тел и месторождений в разломах помогут существенно сократить сроки разведки и затраты на проведение ГРР.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Вольфсон Ф.И. Проблемы изучения гидротермальных месторождений. М.: Госгеолтехиздат. 1953, переизд. АН СССР. 1962. 305 с.
- Вольфсон Ф.И., Дружинин А.В. Месторождения золота. С. 274–302. / Главнейшие типы рудных месторождений. М.: Недра. 1982. 383 с.
- Вудолл Р. Месторождения золота. С. 541–555. // Золото в докембрийском щите Западной Австралии. Полезные ископаемые Австралии и Папуа Новой Гвинеи. М. Наука. 1980. Т. 1. 630 с.
- Кинг Ф.Б. Вопросы тектоники Северной Америки. М.: 1969. Изд. МГУ.
- Кинг Ф.Б. Тектоническая карта Северной Америки. // Тектонические карты континентов на XXII сессии Междунар. геол. конгресса. М. Наука. 1967
- 6. Константинов М.М. Золотое и серебряное оруденение вулканогенных поясов мира. М.: Недра. 1984. 168 с.
- Константинов М.М. Золоторудные провинции мира. М. Научный мир. 2006. 355 с.
- 8. Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Госгеолтехиздат. 1956., переизд. 1960. 332 с.

- 9. Линдгрен В. Месторождения золота и платины. М.-Л.: «Цветметиздат». 1932. с.
- Некрасов Е.М., Дорожкина Л.А., Дудкин Н.В. Особенности геологии и структуры крупнейших золоторудных месторождений эндогенного класса. М.: «ООО Астреяцентр». 2015. 191 с.
- Некрасов Е.М., Дорожкина Л.А., Дудкин Н.В., Косовец Т.Н. Систематика, структура и запасы золоторудных месторождений. М.: «ООО Астрея-центр». 2019. 241 с.
- Смирнов В.И. Геологические условия образования полезных ископаемых: С. 59–91; Гидротермальные месторождения: С. 224–345 // Геология месторождений полезных ископаемых. М.: Недра.1976. 698 с.
- Смирнов В.И., Рыженко Л.М. Некоторые особенности образования и размещения ртутных месторождений // Закономерности размещения полезных ископаемых. М.: Изд. АН СССР. 1958. Т. 1. С. 289–301.
- Шер С.Д. Металлогения золота (Северная Америка, Австралия и Океания). М.: Недра. Т. 1. 1972. 295 с.; (Европа, Азия, Южная Америка). Т. 2. 1974. 256 с.
- Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А. и др. Разломообразование в литосфере. Зоны сдвига. Новосибирск. Наука. 1991. 261 с.
- 16. Семинский К.Ж., Гладков А.С., Лунина О.В., Тугарина М.А. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Прикладной аспект. Новосибирск: Изд-во СО РАН, Филиал «Гео», 2005. 291 с.
- 17. Шерман С.И., Семинский К.Ж. Тектонофизические исследования в Институте земной коры СО РАН: принципи-

альные достижения и актуальные задачи. Геодинамика и тектонофизика. 2010. Т. 1. 1. С. 4–23.

- Хаин В.Е. Региональная тектоника. Северная и Южная Америка. М.: Недра. 1971. 548 с.
- Bissig T., Clark A.H., Lee J.K.W. and Hodgson C.J. Miocene landscape evolution and geomorphologic controls on epithermal processes in the El Indio-Pascua Au-Ag-Cu belt, Chili and Argentina// Econ. Geol. 2002. V. 97. N 5. P. 971–996.
- Camus F. The geology of hydrothermal gold deposits in Chili // Journal of geochemical exploration. 1990, V. 36. N 197.
- 21. Emmons W.H. Gold deposits of the world. Mc Graw-Hill Book company. New-York and London. 1937. 562 p.
- Noble D.C., McKee E.N. The miocenemetallogenic belts of Central and North Peru // Geology and ore deposits of the Central Andes. Society of Econ. Geol. 2000, Spec. publ. N 7. P. 155–175.
- Sillitoe R.H. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region // Australian journal of earth sciences. 1997, V. 44. N 2, P. 373–388.
- Sillitoe R.H. Gold metallogeny of Chili an introduction // Econ. Geol. 1991, V. 86. N 7, P. 1187–1205.
- Teal L. and Benavides A. History and geologic overview of the Yanacocha mining district, Cajamarca, Peru. // Econ. Geol. 2010, V. 105. N 7. P. 1173–1190.
- 26. Weinberg R.F., Boryh P., Bateman R.J., Groves D.I. Kinematic history of the Boulder-Lefroy shear zone system and controls on associated gold mineralization, Yalgarneration, Western Australia // Econ. Geol. 2005, V. 100. N 7. P. 1407– 426.

#### REFERENCES

- Vol'fson F.I. Problemy izuchenija gidrotermal'nyh mestorozhdenij. [Problems of studying hydrothermal deposits]. Gosgeoltechizdat. 1953. Transactions of the Academy of Sciences of of the USSR, 1962, 305 p. (in Russian)
- Vol'fson F.I., Druzhinin A.V. Mestorozhdenija zolota. [Gold deposits], pp. 274–302. Major types of ore deposits. M., Nedra Publ., 1982, 383 p. (in Russian)
- Vudoll R. Mestorozhdenija zolota. S. 541–555. Zoloto v dokembrijskom shhite Zapadnoj Avstralii. Poleznye iskopaemye Avstralii i Papua Novoj Gvinei. [Gold deposits], pp. 541–555. Gold in Precambrian shield of Western Australia. Ore deposits of Australia and Papua New Guinea. M., Nauka Publ., 1980, Vol. 1, 630 p. (in Russian)
- King F.B. Voprosy tektoniki Severnoj Ameriki [Questions of tectonics of North America]. M., 1969, Publishing house of MSU, 1969. (in Russian)
- King F.B. Tektonicheskaja karta Severnoj Ameriki. Tektonicheskie karty kontinentov na HHII sessii Mezhdunar. geol. kongressa [Tectonic map of North America. Tectonic maps on the XXII-th session of International Geology Congress]. M., Nauka Publ., 1967. (in Russian)
- Konstantinov M.M. Zolotoe i serebrjanoe orudenenie vulkanogennyh pojasov mira. [Gold and silver mineralization of volcanogenic belts of the world]. M., Nedra Publ., 1984, 168 p. (in Russian)
- Konstantinov M.M. Zolotorudnye provincii mira. [Gold provinces of the world]. M., Scientific world, 2006, 355 p. (in Russian)
- Krejter V.M. Poiski i razvedka mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh. [Searches and explorations of ore deposits]. Gosgeolthechizdat, 1956, republish 1960, 332 p. (in Russian)

- 9. Lindgren V. Mestorozhdenija zolota i platiny. [Deposits of gold and platinum]. M.-L.: «Tsvetmetizdat», 1932. (in Russian)
- Nekrasov E.M., Dorozhkina L.A., Dudkin N.V. Osobennosti geologii i struktury krupnejshih zolotorudnyh mestorozhdenij jendogennogo klassa. [Distinctive features of geology and structure of major gold deposits of endogenic class]. M.: «Astrea-Centre Ltd.», 2015, 191 p. (in Russian)
- Nekrasov E.M., Dorozhkina L.A, Dudkin N.V., Kosovets. Sistematika, struktura i zapasy zolotorudnyh mestorozhdenij. [Systematics, structure and reserves of gold deposits]. «Astrea-Centre Ltd.», 2019, 241 p. (in Russian)
- Smirnov V.B. Geologicheskie uslovija obrazovanija poleznyh iskopaemyh: S. 59–91; Gidrotermal'nye mestorozhdenija: S. 224–345. Geologija mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh. [Geological conditions of formation of ore deposits, pp. 59–91, Hydrothermal deposits], pp. 224–345, M., Nedra Publ., 1976, 698 p. (in Russian)
- Smirnov V.I., Ryzhenko L.M. Nekotorye osobennosti obrazovanija i razmeshhenija rtutnyh mestorozhdenij. Zakonomernosti razmeshhenija poleznyh iskopaemyh. [Certain specific features of formation and distribution deposits of Mercury. Regularity of distribution of ore deposits]. M., Publishing House of Academy of Sciences of the USSR, 1958, Vol. 1, pp. 289–301. (in Russian)
- 14. Sher S.D. Metallogenija zolota (Severnaja Amerika, Avstralija i Okeanija). [Metallogeny of gold (North America, Australia and Oceania)]. M., Nedra Publ., Vol. 1, 1972, 295 p.: (Europa, Asia, South America), Vol. 2, 1974, 256 p. (in Russian)
- Sherman S.I., Seminskij K.Zh., Bornjakov S.A. i dr. Razlomoobrazovanie v litosfere. Zony sdviga. [Fault-formation in lithosphere. Zones of shift]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991, 261. (in Russian)



- Seminskij K.Zh., Gladkov A.S., Lunina O.V., Tugarina M.A. Vnutrennjaja struktura kontinental'nyh razlomnyh zon. Prikladnoj aspekt. [Internal Structure of Continental Fault Zones. Applied Aspect]. Novosibirsk, Publishing House of SB RAS Branch «GEO», 2005. (in Russian)
- 17. Sherman S.I., Seminskij K.Zh. Tektonofizicheskie issledova-nija v Institute zemnoj kory SO RAN: principial'nye dostizhe-nija i aktual'nye zadachi. Geodinamika i tektonofizika. [Tectonophysical research at Institute of the Earth's crust SB RAS: major achievements and actual problems]. 2010, V. 1, no. 1, pp. 4–23. (in Russian)
- Hain V.E. Regional'naja tektonika. Severnaja i Juzhnaja Amerika. [Regional tectonic. North and South America]. M., Nedra Publ., 1971, 548 p. (in Russian)
- Bissig T., Clark A.H., Lee J.K.W. and Hodgson C.J. Miocene landscape evolution and eomorphologic controls on epithermal processes in the El Indio-Pascua Au-Ag-Cu belt, Chili and Argentina. Econ. Geol., 2002, V. 97, no 5, pp. 971–996.
- Camus F. The geology of hydrothermal gold deposits in Chili. Journal of geochemical exploration, 1990, V. 36, no. 197.

- Emmons W.H. Gold deposits of the world. Mc Graw-Hill Book company. New-York and London, 1937, 562 p.
- Noble D.C., McKee E.N. The miocenemetallogenic belts of Central and North Peru. Geology and ore deposits of the Central Andes. Society of Econ. Geol., 2000, Spec. Publ, no. 7, pp. 155–175.
- SIllitoe R.H. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region. Australian journal of earth sciences, 1997, V. 44, no. 2, pp. 373–388.
- Sillitoe R.H. Gold metallogeny of Chili an introduction. Econ. Geol., 1991, V. 86, no. 7, pp. 1187–1205.
- Teal L. and Benavides A. History and geologic overview of the Yanacocha mining district, Cajamarca, Peru. Econ. Geol., 2010, V. 105, no. 7, pp. 1173–1190.
- Weinberg R.F., Boryh P., Bateman R.J., Groves D.I. Kinematic history of the Boulder-Lefroy shear zone system and controls on associated gold mineralization, Yalgarncration, Western Australia. Econ. Geol., 2005, V. 100, no. 7, pp. 1407–1426.



# РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

## IX Международная научная конференция молодых ученых

## «Молодые - Наукам о Земле»

г.Москва

30-31 марта 2020 г.

ФГБОУ ВО "Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе" (МГРИ) приглашает принять участие в IX Международной научной конференции молодых ученых «**Молодые - Наукам о Земле**». Конференция традиционно состоится в городе Москва по адресу: ул. Миклухо-Маклая д.23.

Конференция призвана сконцентрировать наработки в самых разных областях, включая инновационные направления - космическая геология, цифровые технологии разведки и разработки месторождений полезных ископаемых, цифровизация экономики минерально-сырьевого комплекса и многие другие.

По результатам конференции, доклады участвовавших в конференции будут размещены в электронной библиотеке научных публикаций (РИНЦ).

По решению редакционного комитета Конференции лучшие доклады, отвечающие целям конференции и доложенные на конференции, будут опубликованы в журнале: Известия высших учебных завелений. Геология и развелка». (Chemical Abstracts, GeoRef, BA

«Известия высших учебных заведений. Геология и разведка» (ChemicalAbstracts, GeoRef, BAK)

#### Темы научных секций

- 1. Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения
- 2. Геология, геотектоника, геодинамика
- 3. Региональная геология, палеонтология, стратиграфия
- 4. Минералогия и геммология, петрология и геохимия
- 5. Поиски, разведка и подсчет запасов месторождений углеводородов
- 6. Цифровые технологии моделирования осадочных бассейнов и месторождений углеводородов
- 7. Освоение минерально-сырьевых ресурсов Арктики и Дальневосточных морей
- 8. Инновационные технологии геологической разведки, горного и нефтегазового дела
- 9. Бурение скважин
- 10. Космическая геология
- 11. Гидрогеология и инженерная геология
- 12. Цифровизация экономики минерально-сырьевого комплекса
- 13. Геоэкология
- 14. Математическое моделирование и разведочная геофизика
- 15. Экономико-правовые основы недропользования
- 16. Гуманитарные проблемы профессионального горно-геологического образования
- 17. Геоэтика
- 18. Строительство систем и сооружений водоснабжения и водоотведения
- 19. Региональная секция Старооскольского филиала МГРИ

#### Ключевые даты

1 марта 2020 г.	Окончание приёма тезисов докладов и за	аявок
30 марта 2020 г.	Пленарное заседание	
30-31 марта 2020 г.	Выступления докладчиков	
3 апреля 2020 г.	Праздничный концерт	

Ждем Вас в стенах нашего Университета!

#### ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

2019, № 6

### МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

### MINERALOGY, PETROGRAPHY, LITHOLOGY

УДК 551.31+ 552.086

### ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ КУРСОВСКОЙ СВИТЫ ВЕНДА МИРНИНСКОГО ВЫСТУПА НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ КЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА

#### А.В. ПЛЮСНИН

ООО «Иркутская нефтяная компания» Проспект Большой литейный, дом 4, Иркутск, Россия e-mail: Plysnin\_AV@irkutskoil.ru

Объектом изучения в данной работе являются терригенные и карбонатные породы курсовской свиты непского горизонта ботуобинской фациальной зоны Мирнинского выступа северо-восточной части Непско-Ботуобинской антеклизы. В последние годы, в ходе активных геологоразведочных работ в регионе, появился керновый материал высокого качества, изученный на макро и микроуровне, что позволило получить новые данные о вещественном составе. На основе детального литологического описания и петрографического изучения керна автором впервые приводиться описание и обоснование разделения курсовской свиты на три литологические пачки: нижнюю глинисто-песчаную среднюю карбонатно-глинистую и верхнюю карбонатно-глинисто-песчаную. Литологические свойства изучаемого разреза отражаю особенности вендского осадконакопления на юге Сибирского палеоконтинента. Накоплению песчаников курсовсой свиты способствовало выветривание магматических породы кислого и среднего состава, продукты разрушения которых поступали из северо-сверо-западной части в юго-восточную части Непско-Ботуобинской антеклизы в современном плане. Снизу-вверх по разрезу курсовской наблюдается постепенное увеличение зрелости терригенных пород, что связано с длительностью их транспортировки и многократным переотложением. Карбонатные микробиальные образования средней пачки курсовской свиты являются первыми свидетелями жизни в вендском палеобассейне, их характерной особенностью является магнезиальная примесь.

Ключевые слова: литология; курсовская свита; непский горизонт; венд; Мирнинский выступ; Непско-Ботуобинская антеклиза; Восточная Сибирь.

https://doi.org/10.32454/0016-7762-2019-6-45-52

### MATERIAL COMPOSITION OF THE KURSOV'S ASSISE OF THE VENDIAN PERIOD OF THE MIRNIN OUTSHOT OF THE NEPSK-BOTUOBINSK ANTECLISE ACCORDING TO THE RESULTS OF THE CORE MATERIAL STUDY

#### ALEXEY V. PLYUSNIN

LLC «Irkutsk oil company» Bolshoy Liteyny Avenue, house 4, Irkutsk city, 664007, Russia mail: Plysnin\_AV@irkutskoil.ru

In this work, the object studied is the terrigenous and carbonate rocks of the Kursov's assise of the Nepsk horizon of the Botuobinsk facies zone of the Mirnin outshot of the north-eastern part of the Nepsk-Botuobinsk anteclise. In recent years, in the course of active geological exploration work in the region, high quality core material appeared. This material was studied at the macro and micro levels, which made it possible to obtain new data on the material composition. Based on the detailed lithological description and petrographic core study, for the first time, the author gives a description and justification of the division of the Kursov's assise into three lithological packs: low clay sand, middle carbonate clay and high carbonate clay sand. The lithological properties of the studied section reflect the characteristics of the Vendian deposition of sediments in the south of the Siberian paleocontinent. The accumulation of sandstones of the Kursov's assise was facilitated by the weathering of magmatic rock of acidic and medium composition; the destruction products that came from the north-western part to the south-eastern part of the Nepsk-Botuobinsk anteclise in the modern plan. In the upper-section of the Kursov's assise, the gradual increase in the maturity of terrigenous rocks, which is associated with the duration of the Kursov's assise are the first witnesses to life in the Vendian paleobasin. Their characteristic feature is the magnesia impurity.

Keywords: lithology; Kursov's assise; Nepsk horizon; Vendian; Mirnin outshot; Nepsk-Botuobinsk anteclise; Eastern Siberia.

\*Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.



Растущий в мире спрос на углеводородное сырье стимулирует деятельность добывающих компаний по повышению эффективности освоения разведанных и поиску новых залежей нефти, газа и конденсата на объектах, расположенных в сложных природно-климатических условиях Восточной Сибири. Основная надежда в этом направлении связана с рациональным использованием геолого-геофизической информации. Для минимизации рисков, повышения степени достоверности геологической модели и прогноза распространения коллекторов необходимо понимать вещественный состав и условия осадконакопления изучаемых отложений.



Рис. 1. Схемы расположения района исследования. А.Местоположение Непско-Ботуобинской антеклизы (2), Непского свода (3) и Мирнинского выступа (4) в границах Сибирской платформы (1). В.Схема фациального районирования Сибирской платформы по вендским огложениям ([4] с изменениями)

В последние годы, в ходе активных геологоразведочных работ в регионе, появился керновый материал высокого качества, изученный на макро и микроуровне, что позволило получить новые данные о вещественном составе венда ботуобинской фациальной зоны Мирнинского выступа.



Рис. 2. Сводный геолого-геофизический разрез курсовской и бюкской свиты Мирнинского выступа с объёмной минералогической моделью



Целью работы является характеристика вещественного состав курсовской свиты венда Мирнинского выступа. Основой для работы послужил керновый материал высокого качества и лабораторные исследования высокого уровня на передовом оборудовании.

Мирнинский выступ находятся в пределах Непско-Ботуобинской антеклизы (рис.1). Отложения венда в пределах площади исследований составляют основание осадочного чехла и залегают непосредственно на выветрелой поверхности кристаллического фундамента. Рассматриваемая в работе часть терригенных отложений венда входит в состав непского регионального горизонта соответствующий нижней части редкинского яруса верхнего отдела вендской системы [1, 4] (рис.2).

#### Материал и методы

На начальном этапе производился анализ литературы, в которой рассматривалось строение вендских отложений НБА [1–5]. В основу написания статьи легли результаты послойного описания керна, петрографический анализ шлифов, рентгеноструктурный анализ (РСА), рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) и определение гранулометрического состава пород методом лазерного светорассеивания. Все минералогические исследования были сведены в обоб-

#### Таблица 1

Аналитический параметр		Число анализов	Нижняя часть курсовской свиты	Средняя часть курсовской свиты	Верхняя часть курсовской свиты
	Сумма глин, %	60	9	40	30
	Кварц, %		72	40	50
Минеральный состав образцов горных пород по данным рентгеноструктурного анализа	Полевые шпаты, %		10	5	5
	Галит, %		1	1	1
	Ангидрит, %		4	9	9
	Пирит, %		1	2	2
	Кальцит, %		1	1	1
	Доломит, %		1	1	1
	Сидерит, %		1	1	1
	Каолинит		0	5	4
	Хлорит	60	25	32	33
	Гидрослюда	00	61	51	50
	ССО		14	12	12
Минеральный состав по данным описания шлифов	Кварц	- 84	70	Подсчет	95
	Полевые шпаты		23	мин,состава затруднен из-	3
	Обломки пород		6	за малого размера	2
	Слюда		1	обломков	0

Вещественный состав терригенной части курсовской свиты

щающие таблицы раздельно для карбонатных и терригенных пород по свитам, подсвитам и выделенным пачкам (см. табл. 1 и 2).

При работе с керновым материалом и интерпретации результатов минералогических анализов использовались труды известных исследователей в области литологии [6–9]. Исследование кернового материла с территории Мирнинского выступа позволило впервые произвести детальное разделение курсовкой свиты на три литологические части (пачки). Далее по тексту автор впервые приводит их детальное описание.

Результат

Таблица 2

Аналитический параметр		Число анализов	Средняя часть курсовской свиты	Верхняя часть курсовской свиты
	Сумма глин, %		8	6
	Кварц, %		7	8
Минеральный состав	Полевые шпаты, %		1	1
	Галит, %		0	1
	Ангидрит, %	60	35	1
	Пирит, %		3	3
данным	Кальцит, %		0	1
рентгеноструктурного	Доломит, %		25	3
анализа	Сидерит, %		6	73
	Магнезит, %		15	3
	Каолинит	60	16	-
	Хлорит		21	-
	Гидрослюда	00	53	-
	CCO		10	-
Минеральный состав образцов горных пород по данным рентгенофлуоресцентного анализа	CaO		34	1
	MgO	60	20	12
	S		10	1
	SiO <sub>2</sub>		17	9
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1	4
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		2	34
	Другие элементы		16	39

#### Вещественный состав карбонатной части курсовской свиты



**Нижняя часть свиты.** В подошве отмечаются гравелиты в ассоциации с конгломератами и песчаниками; выше они переходят песчаники с многочисленными прослоями плотных глинистых алевролитов, выше переходящие в алевролиты (см. табл. 1). Выделены следующие литотипы.

Гравелиты разнообломочные, песчанистые, массивные и пологокосослоистые с регенерационным кварцевым, полевошпатовым и глинистым цементом, обломки пород угловато-окатанные и плохо отсортированные. Среди обломков преобладает кварц и обломки полевых шпатов. В массивных гравийно-галечных грубозернистых песчаниках наблюдается нормальная и обратная градационная слоистость. В таких песчаниках обломки пород уплощенной формы часто имеют линейную ориентировку. В кровле песчаных слоев и прослоев местами отмечаются тонкие (до 3 см) слойки алевролита.

Песчаники разнозернистые, от мелко- до грубозернистых, полевошпат-кварцевые, с неравномерно расположенным пятнистым сульфатным и доломитовым цементом, с многочисленными тонкими волнистыми глинистыми прожилками; с неравномерной карбонатной, сульфатной и глинистой цементацией; в песчаниках отмечаются прожилки, прослои и интракласты алевролитов.

По результатам гранулометрического анализа суммарная доля песчаной фракции составляет 54—96%, доля гравийных обломков может достигать 3%, алевритовой содержится 3—44% (высокие значения могут быть из-за наличия глинистых интракластов). В составе цемента отмечается карбонаты (до 9%), сульфаты (до 21%) и глинистый материал (рис. 3А).

Алевролиты темно-серые и зеленовато-серые, разнозернистые, преимущественно крупнозернистые, с примесью мелкозернистого песчаного материала, а также с прослоями и линзами мелкозернистого песчаника, породы микрослоистые, участками с деформационными текстурами, плотные. Алевритовая фракция составляет от 51 до 68%. В песчаных прослоях и линзах наблюдается пятнистый сульфатный цемент и стяжения неправильной формы.

Средняя часть курсовской свиты снизу-вверх представлена аргиллитами алевритистыми и алевролитами глинистыми с прослоями доломитов и мергелей. Основными породообразующими минералами карбонатной части являются: доломит, ангидрит, глинистые минералы, кварц (в виде терригенной примеси), сидерит и магнезит. Глинистая фракция пород представлена гидрослюдисто-хлоритовой ассоциацией с примесью каолинита и смешаннослойных образований (см. табл. 1 и 2). Выделены следующие литотипы.

Аргиллиты алевритистые и алевролиты глинистые, разнозернистые (преимущественно мелкозернистые), с повсеместно регенерированным кварцевым цементом, тонко- и неясно-слоистыми, участками с текстурами пластовых деформаций, с единичными следами биотурбации, плотными, с трещинами залеченными сульфатами, с многочисленными мелкими карбонатными (магнезит по данным рентгеноструктурного анализа (PCA)) и сульфатными стяжениями, с мелкими желваками ангидрита (рис. 3В).

Доломиты и доломиты сульфатизированные (доломиты-магнезиальные), разнокристаллические, преимущественно тонко-микрокристаллические, массивные, плотные, с трещинами, с многочисленными мелкими включениями ангидрита и гипса. По данным петрографического описания в породах наблюдается равномерное включение микрокристаллического пирита и глинистого материала гидрослюдистого состава в виде включений неправильной формы. Присутствует незначительная примесь зерен кварца изометричной формы, редких чешуек мусковита и зерен титанистых минералов (рис. 3C).

Сульфатизированные мергели и доломиты. Мергели глинистые и сульфатизированные, микрокристаллические и тонкокристаллические, тонко- и неясно-слоистые, с многочисленными мелкими желваками сульфатов, магнезита и сидерита (по данным PCA); от плотных до тонкопористых, с трещинами, с мелкими включениями пирита. По данным петрографического описания присутствует глинистый материал, преимущественно хлорит-гидрослюдистого состава, а также довольно часто встречаются зерна кварца, полевых шпатов мелкоалевритовой размерности (рис. 3D, E).

Верхняя часть свиты снизу-вверх представлена постепенным, но быстрым переходом от песчаников до алевролитов. Завершается пачка карбонатными образованиями (см. табл. 1).

Песчаники разнозернистые, от мелко до крупнозернистых, с пятнистым доломитовым и известковым цементом, с крупной косой и субгоризонтальной слоистостью, пористые, крепкие. Отличительной особенностью является быстрый переход от грубо-крупнозернистых песчаников до пелито-алевритовых пород (в кровле).

Песчаники полевошпат-кварцевого состава с содержанием кварца от 74 до 81%, полевых шпатов — от 10 до 15%, обломков пород — от 3 до 15%. По результатам гранулометрического анализа, количество песчаной фракции обломочного



Рис. 3. Фото шлифов характерных пород курсовской свиты Мирнинского выступа. А-песчаник средне-крупнозернистый, олигомиктовый с поровым сульфатным, полевошпат-кварцевым регенерационным и пленочным глинистым цементом; В-аргиллит алевритистый, со стяжениями карбоната, пиритизированный, слойчатый, микрослоистый; С-доломит-магнезитовая порода, неравномерно сульфатизированная, с многочисленными прожилками растворения желваковой отдельности, заполненными смесью глинистого материала и органического вещества, с крупной трещиной, залеченной кремнистым материалом; D-карбонатно-сульфатная разнокристаллическая порода, с желваковыми скоплениями сульфата; Е-доломит тонко-микрокристаллический, с реликтовой пластово-строматолитовой структурой, неравномерно сульфатизированный; F-песчаник грубо-средне-крупнозернистый гравистый, полевошпатово-кварцевый, с поровым карбонатным, контактово-поровым глинистым цементом, неясно выраженной слойчатостью.Вид с анализатором A,B,C,D,E,F.Увеличение A,C,D,E,F-25х; B-100х. Длина масштабной линейки 1 мм.

материала в песчаниках изменяется от 51 до 92%, и в среднем составляет 76%. Алевритовая фракция изменяется от 4 до 18%, в среднем составляет 14%, пелитовая — достигает 4%, а гравийная фракция — 36 %.

По данным петрографического описания шлифов цемент: карбонатный, сульфатный и глинистый (распределены неравномерно), а также кварцевый в виде шиповидных, прерывистых наростов и редких восстановленных кристаллографических граней (рис. 3F). Алевролиты глинистые, тонко-мелко-крупнозернистые, слабо песчанистые, с субгоризонтальной и волнистой тонкой слоистостью, участками с оползневыми деформационными текстурами, плотные, с редкими зеркалами уплотнения, преимущественно хрупкие, с органическим шламом, крепкие. По данным гранулометрического анализа в породах данного литотипа преобладает алевролитовая фракция от 72, до 86%, песчаная фракция от 3 до 18%, пелитовая составляет от 8 до 41 %.



По данным петрографического анализа породы состоят из тонкой агрегатной смеси глинистых (каолинит-гидрослюдистых) минералов.

Верхняя карбонатная пачка. Сидеролит разнокристаллический, преимущественно тонко-микрокристаллический, микробиальный, плотный, в различной степени закарстованный. Наблюдаются палеокарстовые полости и трещины, выполненные глинистым материалом с крупными желваками ангидрита. Помимо ангидрита наблюдаются включения соли (карналлит); примесь и включения минералов железа (гематит, лимонит, а также сидерит), окрашивающие породы в бурый и желтовато-серый цвет. В кровле пачки породы слабо брекчированные.

Порода полностью перекристаллизована. Сидерит микрокристаллический в виде ксеноморфных, редких гипидиоморфных кристаллов с плотной конформной упаковкой

#### Выводы

В результате проведенных исследований автором, дано детальное литологическое и минералогическое описание свит и пачек курсовской свиты непского горизонта ботуобинской фациальной зоны. Представлены обобщающие таблицы минералогического состава для подсвит. Впервые предложено и обосновано разделение курсовской свиты на три литологические пачки: нижнюю глинисто-песчаную, среднюю карбонатно-глинистую и верхнюю карбонатно-глинисто-песчаную.

Характерной особенностью карбонатных пород венда является наличие породообразующего минерала магнезита. Магнезиты так же, как и доломиты, являются первичными. В позднем протерозое были широко развиты цианобактерии, жизнедеятельность которых резко повышала pH, что приводило к массовому осаждению карбонатов не только кальция, но и магния. Первые микробиальные постройки фиксируются в средней пачке курсовской свиты, что указывает на преобладания мелководно-морских условий на данном этапе осадконакопления. Пользуясь стратиграфическими схемами (Мельников, 2009) время появление первых микробиалитов оценивается 577—575 млн. лет.

В заключении автор выражает благодарность заведующему лаборатории минералогии и петрографии Митрошину О.Ю., а также петрографам Климовой Е.С. и Мартынюк Е.В.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Мельников Н.В. Венд-кембрийский солеродный бассейн Сибирской платформы (Стратиграфия, история развития). Новосибирск: СО РАН, 2009. 148 с.
- Котова Л.Н. Литогеохимия тонкозернистых обломочных пород венда Непского свода Сибирской платформы / Л.Н. Котова, В.Н. Подковыров, О.В. Граунов // Литосфера. 2016. Т. 1. С. 74 87.
- Кузнецов В.Г. Литология основы общей (теоретической) литологии / В.Г. Кузнецов. М.: Изд-во Научный мир, 2011. 360 с.
- Маслов А.В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных / А.В. Маслов. Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. 289 с.
- Петтиджон Ф.Дж. Осадочные породы / пер. с англ. под ред. И.М. Симановича, П.П. Тимофеева. М.: Недра, 1981. 752 с.

- 6. Решения четвертого межведомственного регионального совещания по уточнению и дополнению стратиграфических схем венда и кембрия внутренних районов Сибирской платформы. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1989. С. 40.
- 7. Фролов В.Т. Литология: в 2 кн. М.: Изд-во МГУ, 1993. 432 с.
- Шемин Г.Г. Геология и перспективы нефтегазоносности венда и нижнего кембрия центральных районов Сибирской платформы (Непско-Ботуобинская, Байкитская антеклизы и Катангская седловина) / Г.Г. Шемин. Новосибирск: Издво СО РАН. 2007. 467 с.
- 9. Einsele G. Sedimentary basins: Evolution, facies, and sediment budget. Berlin: Springer-Verlag, 2000. 792 p.
- Lebedev M.V. Facial unconformities and facial series in the sequence stratigraphy. Oil and Gas Studies. 2018; (6): 24–32. (In Russ.) https://doi.org/10.31660/0445-0108-2018-6-24-32.

#### REFERENCES

- Mel'nikov N.V. Vend-kembrijskij solerodnyj bassejn Sibirskoj platformy (Stratigrafiya, istoriya razvitiya) [Vendian-Cambrian salt pool of the Siberian platform (Stratigraphy, history of development)]. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2009, 148 p. (in Russian)
- Kotova L.N., Podkovyrov V.N., Graunov O.V. Lithogeochemistry of fine-grained Vendian clastic rocks of the Nepa dome, Siberian Platform. LITHOSPHERE (Russia), 2016, (1), pp. 74–87. (In Russian)
- Kuznetsov V.G., Litologiya. Osnovy obshchey (teoreticheskoy) litologii [Lithology. Fundamentals of general (theoretical) lithology], Moscow, Nauchnyy mir Publ., 2011, 360 p. (in Russian)
- Maslov A.V. Osadochnye porody: metody izucheniia i interpretatsii poluchennykh dannykh: uchebnoe posobie [Sedimentary rocks: methods of study and interpretation of obtained data: study manual]. Ekaterinburg, Izdatel'stvo UGGU, 2005. 289 p. (in Russian)

- Pettidzhon F.Dzh. Osadochnye porody [Sedimentary rocks]. Moscow, Nedra, 1981, 752 p.
- 6. Resheniya chetvertogo Mezhvedomstvennogo regional'nogo stratigraficheskogo soveshchaniya po utochneniyu i dopolneniyu stratigraficheskih skhem venda i kembriya vnutrennih rajonov Sibirskoj platform [Decisions of the fourth Interdepartmental Regional Stratigraphic Meeting to clarify and supplement the Vendian and Cambrian stratigraphic schemes of the inner regions of the Siberian Platform]. Novosibirsk, CIIGGIMS, 1989, 64 p. (in Russian)
- 7. Frolov V.T. Litologiia [Lithology]. Moscow, Moskovskii gosudarstvennyi universitet, 1992, book 1, 336 p. (in Russian)
- 8. Shemin G.G. Geologiya i perspektivy neftegazonosnosti venda i nizhnego kembriya central'nyh rajonov Sibirskoj platformy (Nepsko-Botuobinskaya, Bajkitskaya anteklizy i Katangskaya sedlovina) [Geology and oil and gas potential of the Vendian and Lower Cambrian in the central regions of the Siberian platform (Nepsko-Botuobinskaya, Baikit anteclises and Katanga saddle)]. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2007, 467 p. (in Russian).
- 9. Einsele G. Sedimentary basins: Evolution, facies, and sediment budget. Berlin: Springer-Verlag, 2000, 792 *p*.
- Lebedev M.V. Facial unconformities and facial series in the sequence stratigraphy. Oil and Gas Studies. 2018;(6):24-32. (In Russian) https://doi.org/10.31660/0445-0108-2018-6-24-32.



УДК 551.86; 551.763.12; 553.982.23.051(571.121)

### УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫЕ СВОЙСТВА НИЖНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТАВДИНСКОГО МЕГАВЫСТУПА ИУССКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО РАЙОНА

Е.О. ДЕРНОВА<sup>1, 2</sup>, Е.А. КАПРАНОВА<sup>2</sup>, Ю.В. ЩЕРБИНА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия e-mail: dernova.eo@gmail.com, e-mail: instata@yandex.ru

<sup>2</sup>ΦГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт» 36, Шоссе Энтузиастов, г. Москва 105118, Россия e-mail: kapranova@vnigni.ru

В представленной работе рассмотрены различия механизмов формирования нижнеготтеривских отложений по результатам литолого-петрофизических исследований образцов керна по 5 скважинам леушинской (ок. 150 образцов) и викуловской (ок. 150 образцов) свит. Территория, охваченная исследованиями, расположена на границе ХМАО и Свердловской области. Рассмотрены и сопоставлены различия механизмов формирования викуловской и леушинской свит с привлечением данных макроописания керна, биофациального, гранулометрического, петрографического и рентгеноструктурного анализов Нижнемеловые отложения изученного района представлены чередованием алевролитов, аргиллитов с редкими прослоями песчаников. Рассмотрены гранулометрические коэффициенты, наиболее часто использующиеся для интерпретации сред седиментации, — медианный размер зерен (Md), средний размер зерен (Хср), коэффициенты сортировки (S0) и асимметрии (As), эксцесс (Ex), отражающие основные особенности распределения зерен в изучаемом разрезе. По данным гранулометрического анализа построены и проанализированы гистограммы - графики распределения массовых долей в процентах по фракциям. Для генетической интерпретации была использована С-М диаграмма Пассега, построение которой основано на механизме переноса частиц и напрямую зависит от динамики потока. Сделаны выводы об условиях формирования отложений. На коллекторские свойства обломочных пород зачастую оказывают влияние многие факторы из рассмотренных выше: медианный размер зерен, отсортированность обломочной части, состав, количество и тип цемента, процессы уплотнения, перекристаллизация, выщелачивание, аутигенное минералообразование и др. На основании проведенных исследований проанализировано влияние различных факторов на коллекторские свойства.

Ключевые слова: нижний мел; викуловская свита; леушинская свита; структура порового пространства; рентгеноструктурный анализ; гранулометрический анализ; анализ гранулометрических коэффициентов; эксцесс; асимметрия; коэффициент сортировки; медианный диаметр; осадконакопление.

https://doi.org/10.32454/0016-7762-2019-6-53-62

### CONDITIONS OF THE FORMATION AND FILTRATION-CAPACITIVE PROPERTIES OF THE LOWER CRETACEOUS DEPOSITS OF THE TAVDINSK MEGA OUTSHOT IN THE IUSSK OIL AND GAS BEARING REGION

ELENA O.DERNOVA<sup>1, 2</sup>, EKATERINA A. KAPRANOVA<sup>2</sup>, JULIA V. SHCHERBINA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Russian State Geological Prospecting University 23, Miklouho-Maklays street, Moscow 117997, Russia e-mail: dernova.eo@gmail.com, e-mail: instata@yandex.ru

<sup>2</sup>All-Russian Research Geological Oil Institute (FSBI «VNIGNI») 36, Shosse Entuziastov, Moscow 105118, Russia e-mail: kapranova@vnigni.ru

In the presented work, the differences of mechanisms of the formation of the Lower Gotterivian deposits are considered based on the results of lithological-petrophysical studies of core samples on 5 wells of Leushin's (approx. 150 samples) and Vikulov's (approx. 150 samples) assises. The area covered by the studies is located on the border of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug and Sverdlovsk region. The differences in the mechanisms of the formation of the Vikulov's and Leushin's assises with the use of core macrodescription data, biofacies, granulometric, petrographic and X-ray structure analyses are considered and compared. The Lower Cretaceous deposits of the studied area are represented by alternating aleurolites and argillites with rare interbeds of sandstones. The granulometrical factors most commonly used for the interpretation of sedimentation environments, the median grain size (Md), the average grain

size (Xcp), the sort factor (S0), the asymmetry factor (As) and the excesses (Ex), reflecting the main characteristics of the grains distribution, are considered. According to the granulometric analysis, bar graphs of the distribution of mass fractions in percent by fractions were built and analysed. For genetic interpretation, the CM Passega diagram, construction of which is based on the mechanism of particle transfer and directly depends on the flow dynamics, was used. Conclusions about the conditions of the deposits formation are made. The reservoir properties of detrital rocks are often influenced by many of the factors discussed above: the median grain size, sorting of the detrital part, composition, amount and type of cement, compaction processes, recrystallisation, bore-hole mining and authigenic mineral formation. Based on the studies carried out, the influence of various factors on reservoir properties was analysed. Keywords: Lower Cretaceous; Vikulov's assise; Leushin's assise; pore structure; X-ray structure analysis; granulometric analysis; analysis of granulometrical factors; excesses; asymmetry; sorting ratio; median diameter; deposition of sediments.

Объектом изучения в представленной работе являлись нижнемеловые отложения викуловской и леушинской свит, залегающие на глубине 850,0— 1050,0 м и представляющие собой слабоконсолидированные разности. Территория, охваченная исследованиями, расположена на границе XMAO и Свердловской области. Изучаемый район приурочен к северной части Тавдинского мегавала [6].

Цель исследования — выявление различий механизмов формирования викуловской и леушинской свит с привлечением данных макроописания керна, биофациального, гранулометрического, петрографического и рентгеноструктурного анализов по данным 6 скважин.

Литологическая характеристика. Нижнемеловые отложения изученного района представлены чередованием алевролитов, аргиллитов с редкими прослоями песчаников с линзовидно-волнистыми и реже косослоистыми текстурами, в различной степени нарушенными оползанием, эродированием, карманами внедрения, биотурбацией. В данной работе представлены результаты лабораторного исследования разреза по 5 скважинам.

По данным рентгеноструктурного анализа и микроскопии установлено, что за исключением карбонатизированных пропластков, отложения обеих свит имеют достаточно близкий минералогический состав. Леушинская свита представлена (средние значения): кварц 60-65% до 70%, полевые шпаты от 10-15% до 20%, слюды 7-10%, реже до 20%, литокласты метаморфических и магматических пород 5-10%, глауконит 5-7%, реже до 15%, углефицированный растительный детрит < 2-7%, редко до 10%. Отложения викуловской свиты содержат (средние значения): кварц 55-60%, до 70%, полевые шпаты 10-15% до 25%, слюды от 5-10% и 15-20% до 30% в различных структурных типах, литокласты метаморфических и магматических пород 5-10% до 15%, глауконит 1-5% до 15%, реже биотит 5-10%, углефицированный растительный детрит 1-10%, иногда до 15-20%.

Структура порового пространства. По данным оптической микроскопии поровое пространство пород обеих свит характеризуется наличием межзерновой пористости и пористости за счет выщелачивания полевых шпатов. По данным растровой электронной микроскопии емкостное пространство викуловской свиты представлено межзерновыми полигональными и субизометричными капиллярами диаметром 0,01-0,05мм, иногда образующими единое емкостное пространство диаметром до 0,01мм. На гранях большинства зерен и в капиллярах присутствует пленочный и поровый глинистый (каолинитовый, возможно, хлоритовый) цемент. Для отложений леушинской свиты свойственны межзерновые капилляры полигональной, реже щелевидной формы диаметром 0,005-0,08 мм, часто сообщающиеся между собой и образующие единое емкостное пространство диаметром до 0.01 мм. Развит пленочный поровый глинистый каолинит-хлоритовый цемент, реже кальцитовый. Кроме того, в кальцитовом цементе присутствуют мелкие меж- и внутрикристаллические капилляры диаметром 0,001-0,02 мм, образованные, вероятно, за счет процессов выщелачивания. Обломочные породы обеих свит неравномерно трещиноватые. Микротрещинки полые, субгоризонтальные однонаправленные с раскрытием до 0,01-0,02 мм для леушинской свиты, 0,005-0,03 мм — для викуловской. Трещинки ветвящиеся, пересекающиеся, транзитно проходящие в высокопористые слои, реже — множественные полые микротрещины с ореолами миграции флюида вокруг них. Для отложений викуловской свиты характерны трещинки с редким органическим веществом сапропелевого типа внутри и редко с ореолами миграции в глинистом веществе.

Гранулометрическая характеристика. Гранулометрический анализ проводился с помощью лазерного анализатора частиц Horiba LA-950 с жидкостным дисперсионным модулем и ультразвуковой обработкой. Большое внимание уделено пробоподготовке, поскольку результаты исследования напрямую зависят от качества материала. Дезагрегация проводилась путем растирания породы лепестком, разламывающим породу, дальнейшая обработка производилась резиновым пестиком с контролем агрегационного состояния зерен под бинокуляром.

Отложения изучаемых свит близки по гранулометрическому составу. Леушинская свита пред-

### МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ MINERALOGY, PETROGRAPHY, LITHOLOGY





۲

06

5

(iii)

995



RLA AC, FK

RLAG RLAG RLA3 RLAZ RLA3

14 10

HOUSE & BREEN

никвай ой

L'ay Genee, M

[월

Har. 9-

۲

- 596

6

2

375

8

Леушинская свита.

метриче

(Internal

Md

Sol

50

Б.

910

015

ставлена преимущественно песчаными алевролитами и алевролитами, в разрезе викуловской свиты преобладают алевролиты (рис. 1).

По результатам гранулометрического анализа построены и рассмотрены гистограммы - графики распределения массовых долей в процентах по фракциям. Для большей части пород леушинской свиты характерно бимодальное распределение кривых, наличие пиков в областях крупных фракций, разнородный характер кумулятивных кривых и значительное колебание величины среднего диаметра. Можно предположить, что шло смешение материала из разных источников сноса. Образцы викуловской свиты отмечаются сжатыми и высокими кривыми и достаточно однотипными кумулятивными кривыми, что говорит о преобладании в составе одной фракции.

Для определения генезиса отложений были рассмотрены гранулометрические коэффициенты, наиболее часто использующиеся для интерпретации сред седиментации, — медианный диаметр зерен (Md), средний размер зерен (*X*ср), коэффициенты сортировки (So) и асимметрии (As), эксцесс (Ex), отражающие основные особенности распределения зерен [10,11]. Перечисленные величины рассчитаны аналитически методом статистических моментов в логарифмических единицах шкалы ф «фи» Крумбейна [5, 11] (PHI Scale) с использованием программы GRADISTAT v8 (by Dr Simon J Blott, 2010).

Для леушинской свиты свойственна плохая сортировка (в основном So=1÷1,5), отрицательные (большая часть) и положительные значения асимметрии, мода распределения смещена в сторону мелкозернистых фракций (Mo < Md < Xcp), а более крупнозернистые составляют его «хвост». При As < 0 формирование осадка, по-видимому, происходило в относительно динамически спокойной среде (синее поле на рис. 1). Средний размер частиц свиты составляет ~5,57ф, (0,0211 мм). Видна закономерность, что с переходом от отрицательных значений асимметрии к положительным, т. е. с увеличением энергии потока, отложившего осадок, увеличивается Хср (мах до 0,044 мм) (красное поле на рис. 2*г*). В то же время при As > 0в разрезе имеются породы с Хср~6,5¢ (~0,011 мм) (зеленое поле на рис. 2г). Можно предположить, что гидродинамически активный поток (русловой) попадал в спокойную энергетическую обстановку, где в дальнейшем происходило постепенное осаждение частиц под действием гравитации. Анализ изменения значения среднего диаметра по разрезу показывает значительное изменение данного параметра по глубине, что может свидетельствовать о нестабильности потока, отложившего осадок, во времени. Изложенное может соответствовать прибрежно-морским условиям осадконакопления (переход от фронта дельты к продельте) [13].

В викуловской свите наблюдается преимущественно отрицательная асимметрия (A < 0) (рис. 3 а, б), мода распределения смещена в сторону мелкозернистых фракций (Mo < Md < Xcp), что схоже с леушинской свитой. Чем больше отрицательная асимметрия, тем лучше отсортирован мелкозернистый материал по сравнению с крупнозернистым. Отрицательная асимметрия чаще всего встречается в донных морских осадках или в зонах действия очень слабых речных или придонных морских течений. Высокие значения эксцесса (> 1,5) (рис. 36) в большей степени характерны для донных осадков акваторий и песков морских побережий. Сопоставление среднего размера частиц с коэффициентом асимметрии (рис. 3г) в викуловской свите наглядно показывает, что в при As < 0 в разрезе преобладают частицы алевритовой размерности, для которых величина Хср меняется незначительно, составляя в среднем ~6ф (~0,0156 м) (синее поле на рис. 2г). В случае положительной асимметрии отмечается закономерное увеличение среднего размера зерен с ростом величины As (зеленое поле рис. 3г), что, вероятно, указывает на смену режима осадконакопления, увеличение скорости движения среды. На связи So = f (Xcp) при Xcp ~0,0156 мм величина So = 0,6÷1, что говорит о слабой отсортированности алевритового материала. По мере увеличения Хср степень сортировки материала уменьшается (So > 1,0), что косвенно свидетельствует о возможности привноса речных осадков. В целом можно предположить более спокойную и устойчивую гидродинамическую обстановку осадконакопления в сравнении с леушинской свитой.

Для образцов обеих свит характерны низкие значения медианного диаметра (0,022 мм и 0,0156 мм для леушинской и викуловской свит соответственно), что говорит в целом о низких скоростях движения среды.

Учитывая вышесказанное, можно сделать предположение о водном характере осадконакопления исследуемых отложений. Следовательно, для генетической интерпретации правомочно использование С-М диаграммы Пассега (рис. 4), построение которой основано на механизме переноса частиц и напрямую зависит от динамики потока. Величина С (1%-й квантиль) характеризует подъемную силу потока — максимальный размер частиц для переноса [7, 8, 12].

Поля на диаграмме частично перекрываются, но можно говорить, что основная масса образцов



леушинской свиты соответствует области однородной суспензии. Данный тип осадконакопления характерен для динамически спокойных условий, когда частицы осаждается из взвеси под действием силы тяжести, что свойственно мелководным морям с низкой степенью переработки осадков/ продельтовым отложениям. Осадки представлены внешне однородными глинами, алевритовыми глинами. Согласно описанию шлифов зерна имеют чаще неокатанную или полуокатанную форму из чего можно предположить близость источника сноса. Отмечаются участки активной биотурбации, что, как правило, для морских отложений, образованных в мелководной зоне.

Образцы из викуловской свиты распределились в зонах однородной суспензии и действия мутьевых потоков (турбидитные отложения). Данный факт хорошо коррелируется с макроописанием, согласно которому отложения турбидитных потоков отмечаются как контакты светлых песчаников с нижележащими отложениями в виде четких эрозионных или неровных поверхностей, перера-



Рис. 2. Анализ гранулометрических коэффициентов. Леушинская свита

ботанных илоедами; верхние имеют постепенный переход в алевролиты, присутствует отмученность осадка, что говорит в пользу постепенного, гравитационного осаждения более крупных частиц, а затем более мелких — легких.

Зона однородной суспензии, вероятнее всего, характеризует продельтовые отложения (продельта — часть дельты, расположенная глубже зоны эффективной волновой деятельности) с тонкозернистыми илистыми осадками: алевриты, глины, переходящие в осадки шельфа. Развита линзовидно-волнистая и параллельная слоистость, наблюдаются явления биотурбации. Чем ближе к фронту дельты, тем больше накапливается алевритовый материал, этим объясняется присутствие преимущественно алевролитовых отложений [3, 4].

Точки, расположенные в области градационной суспензии, соответствуют прослоям песчаников коричневато-серых, крупно-грубозернистых и разнозернистых или скоплениям в алевролитах и тонкозернистых песчаниках зерен средне- и крупнопсаммитовой размерности.



Рис. 3. Анализ гранулометрических коэффициентов. Викуловская свита

### МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ MINERALOGY, PETROGRAPHY, LITHOLOGY







В целом для отложений викуловской свиты можно говорить о сносе континентальных осадков с их последующей частичной переработкой в прибрежно-морских условиях и дальнейшим переотложением в условиях мутьевых потоков.

Данные биофациального анализа (палинологического и микрофаунистического анализов шлама) указывают на переходную континентально-морскую обстановку осадконакопления (с минимальным морским влиянием), сменяющуюся морской [1, 2, 9]. Выводы так же подтверждаются ранее проведенными исследованиями по методу биофациального анализа, выполненные рядом авторам. Петрофизическая характеристика. По данным лабораторных исследований керна обеих свит изучено влияние различных факторов на коллекторские свойства: медианный размер зерен, отсортированность обломочной части, состав, количество и тип цемента, процессы уплотнения, перекристаллизация, выщелачивание, аутигенное минералообразование и др. Изучение открытой пористости горных пород на образцах керна производилось методом Преображенского, в котором в качестве насыщающего агента использовалась минерализованная пластовая вода. В результате проведенных исследований выявлено отрицательное



Рис. 5. Сопоставление медианного диаметра и коэффициента проницаемости по лабораторным данным (слева), зависимость Кп/Кпр (справа): а) леушинская свита, б) викуловская свита





Рис. 6. Сопоставление медианного диаметра и коэффициента остаточной водонасыщенности по лабораторным данным: *a)* леушинская свита, *δ)* викуловская свита

влияние высокого содержания глинистой фракции, а также развития карбонатного цемента на фильтрационно-емкостные свойства коллекторов. На основании сопоставления медианного диаметра зерен и основных параметров ФЕС выявлено закономерное увеличение проницаемости с ростом медианного диаметра и обратная связь с остаточной водонасыщенностью: чем ниже коэффициент остаточной водонасыщенности (Ков), тем больше медианный диаметр (Md), что напрямую связано с содержанием глинистого вещества в породе (рис. 5, 6). На емкостные свойства данная величина существенного влияния не оказывает. Значения пористости 30-32% для викуловской свиты обусловлены высоким содержанием пелитовой фракции. Согласно микроскопическому изучению шлифов и данных растровой электронной микроскопии установлено, что процентное содержание глинистого цемента вверх по разрезу увеличивается.

#### Заключение

На основании проведенных исследований можно предположить, что накопление викуловской свиты происходило в более спокойной и устойчивой гидродинамической обстановке в сравнении с леушинской свитой. Данные выводы подтверждаются палеогеографической схемой Западной Сибири готеривского века [6]. Анализ гранулометрического состава, данные РСА свидетельствуют о связи коллекторских свойств с медианным диаметром, содержанием глинистого вещества в породе и проявлением вторичных изменений в виде кальцитизации.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев В.П. Атлас фаций юрских терригенных отложений (угленосные толщи Северной Евразии).// Екатеринбург: УГГУ, 2007. 209 с.
- Алексеев В.П. Подводно-дельтовые песчаники юрских отложений Северной Евразии (распространение, значимость и критерии установления) // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-Югры: мат-лы Двенадцатой научно-практ. конф. Т. 1. Ханты-Мансийск, 2009. С. 144–156.
- 3. В акуленко Л.Г, Предтеченская Е.А., Чернова Л.С. Опыт применения гранулометрического анализа для реконструкции условий формирования песчаников продуктивных пластов васюганского горизонта (Западная Сибирь) // Литосфера. 2003. № 3. С. 99–108.
- 4. Гроссгейм В.А., Бескровная О.В., ГеращенкоИ.Л. и др. Методы палеогеографических реконструкций (при поисках залежей нефти и газа).// Л.: Недра, 1984. 271 с.
- Колмогоров А.Н. О логарифмически-нормальном законе распределения размеров частиц при дроблении. // Докл. АН СССР, 1941, т. 31, № 2, С. 99–101.
- Конторович А.Э., Ершов С.В., Казаненков В.А., Карогодин Ю.Н., Конторович В.А., Лебедева Н.К., Ни-

- китенко Б.Л., Попова Н.И., Шурыгин Б.Н. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в меловом периоде // Геология и геофизика. 2014, т. 55, № 5-6, С. 745-776.
- Романовский С. И. Седиментологические основы литологии. // Л. 1977. С. 86–216.
- 8. С е л л и Р.К. Введение в седиментологию. // М.: Недра, 1981. 363 с.
- Хуснуллина Г. Р., Биркле Е. А., ЛебедевА. И. Гранулометрический анализ песчаников викуловской свиты (апт, нижним мел) Красноленинского месторождения (Западная Сибирь). //Литосфера. 2012. № 6. С. 90–99.
- Ш ванов В.Н., Фролов В.Т., Сергеева Э.И. и др. Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов. // СПб.: Недра, 1998. 352 с.
- K r u m b e i n W.C. Size frequency distribution of sediments.// J.Sediment.Petrol., 1934, vol. 4, p. 65–77.
- P a s s e g a R., B y r a m j e e R. Grain-size image of clastic deposits.// Sedimentology, 1969, v. 13, N 3-4, p. 233-252.
- 13. E i n s e l e G. Sedimentary basins: Evolution, facies and sediment budget.// Springer, 2000. 792 p.

#### REFERENCES

- Alekseev V.P. Atlas fatsiy yurskikh terrigennykh otlozheniy (uglenosnye tolshchi Severnoy Evrazii). [Atlas of facies of Jurassic terrigenous sediments (coal-bearing strata of Northern Eurasia)]. Yekaterinburg: USMU, 2007, 209 p. (In Russian)
- Alekseev V.P. Podvodno-del'tovye peschaniki yurskikh otlozheniy Severnoy Evrazii (rasprostranenie, znachimost' i kriterii ustanovleniya) [Underwater-delta sandstones of the Jurassic deposits of Northern Eurasia (distribution, significance and establishment criteria). Puti realizatsii neftegazovogo i rudnogo potentsiala KhMAO-Yugry: mat-ly Dvenadtsatoy nauchno-prakt. konf. [Ways to implement the oil and gas and ore potential of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Yugra: materials of the Twelfth Scientific and Practical. conf.] Khanty-Mansiysk, 2009, T. 1, pp. 144–156. (In Russian)
- Vakulenko L.G., Predtechenskaya E.A., Chernova L.S. Opyt primeneniya granulometricheskogo analiza dlya rekonstruktsii usloviy formirovaniya peschanikov produktivnykh plastov vasyuganskogo gorizonta (Zapadnaya Sibir') [The experience of using particle size analysis for reconstructing the conditions for the formation of sandstones in productive formations of the Vasyugan horizon (Western Siberia)]. Lithosphere, 2003, no. 3, pp. 99–108. (In Russian)
- Grossheim V.A., Beskrovnaya O.V., Gerashchenko I.L. et al. Metody paleogeograficheskikh rekonstruktsiy (pri poiskakh zalezhey nefti i gaza)[Methods of paleogeographic reconstructions (when searching for oil and gas deposits)]. L.: Nedra Publ., 1984, 271 p. (In Russian)
- 5. Kolmogorov A.N. logarifmicheski-normal'nom zakone raspredeleniya razmerov chastits pri droblenii.[On the log-normal law of particle size distribution during crushing]. Dokl. USSR

Academy of Sciences, 1941, t. 31, no. 2, with 99-101. (In Russian)

- Kontorovich A.E., Ershov S.V., Kazanenkov V.A., Karogodin Yu.N., Kontorovich V.A., Lebedeva N.K., Nikitenko B.L., Popova N.I., Shurygin B.N. Paleogeografiya Zapadno-Sibirskogo osadochnogo basseyna v melovom periode. [Paleogeography of the West Siberian sedimentary basin in the Cretaceous Period]. Geology and Geophysics. 2014, t. 55, no. 5–6, pp. 745–776. (In Russian)
- Romanovsky S.I. Sedimentologicheskie osnovy litologii. [Sedimentological foundations of lithology]. L., 1977, pp. 86– 216. (In Russian)
- Selly R.K. Vvedenie v sedimentologiyu. [Introduction to sedimentology]. M.: Nedra Publ., 1981, 363 p. (In Russian)
- Khusnullina G.R., Birkle E.A., Lebedev A.I. Granulometricheskiy analiz peschanikov vikulovskoy svity (apt, nizhnim mel) Krasnoleninskogo mestorozhdeniya (Zapadnaya Sibir'). [Granulometric analysis of sandstones of the Vikulov Formation (apt, Lower Cretaceous) of the Krasnoleninsky deposit (Western Siberia)]. Lithosphere, 2012, no. 6, pp. 90–99. (In Russian)
- Shvanov V.N., Frolov V.T., Sergeeva E.I. and others. Sistematika i klassifikatsiya osadochnykh porod i ikh analogov.[Systematics and classification of sedimentary rocks and their analogues]. St. Petersburg: Nedra Publ., 1998, 352 p. (In Russian)
- 11. Krumbein W.C. Size frequency distribution of sediments. J. sediment. Petrol., 1934, vol. 4, pp. 65–77.
- Passega R., Byramjee R. Grain-size image of clastic deposits.// Sedimentology, 1969, v. 13, no. 3–4, pp. 233-252.
- Einsele G. Sedimentary basins: Evolution, facies and sediment budget. Springer, 2000, 792 p.

### **ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ** ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

2019, № 6

## ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА OIL AND GAS FIELD GEOLOGY

УДК 550.8

### УСЛОВИЯ НЕФТЕГАЗООБРАЗОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО И ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

Д.Д. ИСМАИЛОВ<sup>1</sup>, С.Г. СЕРОВ<sup>2</sup>, Р.Н. МУСТАЕВ<sup>2</sup>, А.В. ПЕТРОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РГУ нефти и газа (НИУ) имени им. Губкина 65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия e-mail: dzhavidan007@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия e-mail: office@mgri.ru

Показаны результаты исследований углеводородных систем Восточного и Центрального Предкавказья. Район исследований охватывает часть Скифской платформы, а именно северный борт Терско-Каспийского краевого прогиба, северо-восточную часть Восточно-кубанской впадины, Терско-Кумскую впадину и Ставропольский свод. По итогам проведенных работ и бассейновому моделированию процессов генерации, эмиграции и аккумуляции углеводородов — выполнена реконструкция истории нефтегазообразования и нефтегазонакопления в осадочном чехле региона. Бассейновое моделирование процессов образования углеводородов в Центральном и Восточном Предкавказье проводилось с использованием программного комплекса PetroMod (Schlumberger). Полученные результаты позволили определить динамику процессов трансформации органического вещества, эволюцию зон нефте- и газообразования, время и предполагаемые пути миграции углеводородов, фазовый состав и степень углеводородонасыщения разреза и т. п. Достоверность модели корректировалась сравнением значений реперов (современные пластовые температуры, замеренные в скважинах, с расчетными их значениями, полученными в результате моделирования). Определены местоположение возможных очагов генерации углеводородов в осадочном чехле, пути миграции, фазовый состав углеводородов, интенсивность углеводородонасыщения в пределах отдельных тектонических зон и структур. Установлено основные очаги генерации углеводородов в южной части исследуемого региона располагаются в Чеченской впадине (Терско-Каспийский прогиб), на платформенной части – в зоне Манычского прогиба и Ногайской ступени.

Ключевые слова: Восточное и Центральное Предкавказье; углеводородные системы; моделирование; генерация; интенсивность.

https://doi.org/10.32454/0016-7762-2019-6-63-72

### CONDITIONS OF OIL AND GAS FORMATION IN THE TERRITORY OF THE EASTERN AND CENTRAL CISCAUCASIA

DZAVIDAN D. ISMAILOV<sup>1</sup>, SERGEY G. SEROV<sup>2</sup>, RUSTAM N. MUSTAEV<sup>2</sup>, ALEXEY V. PETROV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National University of Oil and Gas «Gubkin University» 65, Leninskiy prosp., Moscow 119991, Russia e-mail: dzhavidan007@mail.ru

<sup>2</sup>Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia. e-mail: office@mgri.ru

The results of studies of hydrocarbon systems of the Eastern and Central Ciscaucasia are shown. The research area covers part of the Scythian platform, namely, the northern side of the Terek-Caspian foredeep, the north-eastern part of the East Kuban depression, the Tersko-Kum depression and the Stavropol arch. Based on the results of the work and basin modelling of hydrocarbons generation, emigration and accumulation processes, the reconstruction of the history of oil and gas formation and oil and gas accumulation in the sedimentary cover of the region was

\*Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.



completed. The basin modelling of hydrocarbon formation processes in Central and Eastern Ciscaucasia was carried out using the PetroMod (Schlumberger) program complex. The obtained results made it possible to determine the dynamics of organic substance transformation processes, evolution of oil and gas formation zones, time and expected paths of hydrocarbon migration and phase composition and degree of hydrocarbon saturation of the section. The model reliability was corrected by comparing the values of benchmarks (modern reservoir temperatures measured in wells, with their calculated values obtained as a result of modelling). The location of possible foci of hydrocarbon generation in the sedimentary cover, the migration paths, the phase composition of hydrocarbons, the intensity of hydrocarbon saturation within individual tectonic zones and structures were determined. It has been established that the main foci of hydrocarbon generation in the southern part of the studied region are located in the Chechen depression (Tersko-Caspian deep), on the platform part–in the zone of the Manych deep and Nogai stage.

Keywords: Eastern and Central Ciscaucasia; hydrocarbon systems; modelling; generation; intensity

Скифская плита — часток эпигерцинской платформенной области с мощным осадочным чехлом. Палеозойский фундамент осложнен как крупными положительными тектоническими элементами — Прикумским сводом, Ставропольским сводом и Донецко-Каспийской погребенной складчатой зоной, так и отрицательными — Терско-Каспийским прогибом и Восточно-Кубанской впадиной [2, 4–5].

Район исследований охватывает только часть Скифской платформы, а именно северный борт Терско-Каспийского краевого прогиба, северо-восточную часть Восточно-кубанской впадины, Терско-Кумскую впадину и Ставропольский свод.

Терско-Каспийский и Западно-Кубанский краевые прогибы входят в краевую систему молодой Скифской платформы. Зоны передовой складчатости мегаантиклинория Большого Кавказа ограничивают с севера эти мегапрогибы [3, 8-12]. Складчатые сооружения в пределах краевых прогибов и северного склона антиклинория Большого Кавказа имеют весьма сложное строение с диапирами и разрывными нарушениями. «Терско-Каспийский краевой прогиб представляет собой крупный самостоятельный элемент Северного Кавказа. Прогиб расположен между юго-восточном окончанием эпигерцинской Скифской плиты на севере и мегантиклинорием Большого Кавказа на юге. С запада прогиб ограничен Минераловодским выступом Северо-Кавказского краевого массива, а на востоке Дагестанским выступом. Мощность земной коры, по данным МОВЗ, составляет в среднем 40 км на границе Скифской плиты при мощности осадочного чехла 4-6 км, и достигает 45-58 км в пределах мегантиклинория Кавказа. В центральной части прогиба мощность земной коры уменьшатся до 35-40 км и соответственно отмечается подъем границы Мохоровичича. Мощность осадочного чехла в центральной части прогиба достигает 12 км. В строении Терско-Каспийского краевого прогиба отмечаются черты, как платформ, так и складчатых областей. В результате многократных активизаций тектонические структуры Терско-Каспийского прогиба отличаются сложностью и дифференцированностью, большими амплитудами перемещений блоков земной коры по разломам и надвигам, что привело к выпадению из разрезов отдельных частей стратиграфических подразделений, формированию крупных несогласий и резкому изменению мощностей и фаций отложений в осадочном чехле» [1].

#### Методика

Бассейновое моделирование процессов образования углеводородов в Центральном и Восточном Предкавказье проводилось с использованием программного комплекса PetroMod 12.1 (Schlumberger). В соответствие с методическими требованиями данной программы, для создания адекватной геолого-геохимической модели были загружены следующие типы исходных данных:

a) *Геологические данные* (сейсмогеологические разрезы, литолого-петрофизические характеристики пород (из базы данных библиотек PetroMod);

б) *Геотермические данные* (данные точечных замеров температур и давлений в скважинах на различных глубинах, среднегодовых температур на поверхности осадков и замеры теплового потока);

в) *Геохимические данные* (тип и содержание органического вещества, величина водородного индекса).

Для восстановления геолого-геохимической истории углеводородных систем были выполнены следующие реконструкции:

- тектонического погружения;
- тепловой истории недр;
- развития процессов нефтегазогенерации

Полученные результаты позволили определить динамику процессов трансформации органического вещества, эволюцию зон нефте- и газообразования, время и предполагаемые пути миграции углеводородов, фазовый состав и степень углеводородонасыщения разреза и др.

Достоверность модели корректировалась сравнением значений реперов (современные пластовые температуры, замеренные в скважинах, с расчетными их значениями, полученными в результате моделирования).

#### Результаты моделирования

Для создания структурной основы модели были использованы региональные структурные карты из «Атласа геологического строения и нефтегазонос-





Рис. 1. Схема расположения использованных региональных сейсмических профилей (Центральное Предкавказье: Reg05s, Reg07s, Reg08s, RegXI; Восточное Предкавказье: RegI, RegIII, RegV и RegVII)

ности Юга России» ГНЦ «Южморгеология», сейсмогеологические разрезы по глубинным сейсмопрофилям (рис. 1).

Оцифровка и ввод данных по структурным картам для различных стратиграфических комплексов

из «Атласа» позволило построить 3D геологическую модель осадочного чехла исследуемого региона (рис. 2). На объемной модели отчетливо обозначаются основные тектонические элементы II порядка, что подтверждает ее корректность. Палео-



Рис. 2. 3D геологическая модель осадочного чехла региона



Рис. 3. Палеотектоническая эволюция осадочного чехла на альпийском этапе развития исследуемого региона



тектоническая эволюция модели на протяжении альпийского геотектонического этапа развития региона приведена на рис. 3.

Выделение литолого-фациальных зон. Следующим этапом моделирования являлось литологическое насыщение структурной модели. При построении литологических моделей осадочного чехла по линиям региональных сейсмических разрезов (см. выше) использовались следующие литотипы пород для основных стратиграфических комплексов (справочные данные по Предкавказью и параметры программного пакета PetroMod):

• Наиболее древними толщами осадочного чехла в моделях являются преимущественно терригенные отложения ранней и средней юры;

• Верхнеюрские отложения, представленные чередованием доломитов, известняков, ангидритов и солей;

• Чередование известняков глинистых, доломитов, песчаников, алевролитов и аргиллитов берриаса-готерива;

• Чередование песчаников, алевролитов, глин и аргиллитов апт-альбских отложений;

• Преимущественно карбонатные отложения верхнего мела, палеоцена;

• Мергели, карбонатные глины эоцена;

• Глины майкопской серии;

• Отложения чокрак-эоплейстоценового комплекса представлены преимущественно терригенными отложениями.

В качестве примера двумерной литологической модели приведено распределение литологических

типов пород по разрезу осадочного чехла по линии субмеридионального сейсмопрофиля RegIII (рис. 4).

Возможные очаги нефтегазогенерации. В качестве очагов нефтегазогенерации обычно рассматриваются нефтегазоматеринские толщи (НГМТ), находящиеся в главной зоне нефтеобразования. «как правило, очаги приурочены к наиболее погруженным частям осадочного бассейна, в которых отложения находятся в более жестких термобарических условиях. Этим обусловлено начало процессов эмиграции и миграция углеводородов из данных областей в коллекторские горизонты. Основной характеристикой очага нефтеобразования является степень катагенетической преобразованности находящихся в нем НГМТ, что в совокупности с типом исходной органики определяет фазовый состав генерируемых флюидов. Для определения положения главной зоны нефтеобразования (ГЗН) использовались расчетные значения отражательной способности витринита. По классификации Н.Б. Вассоевича границам ГЗН соответствуют градации катагенеза МК<sub>1</sub>-МК<sub>2</sub>, что соответствует значениям отражательной способности витринита в масле (R°) 0,55-1,2%. Пик нефтеобразования приходится на стадию MK<sub>2</sub> (R° от 0,65 до 0,85%). «Газовому окну» (главной зоне газообразования (ГЗГ)) соответствуют значения R°= 1,2-4%. В начале «газового окна» генерируется преимущественно «жирный» газ (до R° = 2%), далее происходит генерация «сухого» газа, в составе которого преобладает метан» [7].



Рис. 4. Двумерная литологическая модель по линии субмеридионального сейсмического профиля RegIII



Рис. 5. Объемная модель распределения современных пластовых температур осадочного чехла Центрального и Восточного Предкавказья

Для построения и корреляции катагенетической модели использовались скважинные замеры пластовых температур (Тпл), замеры Ттах и отражательной способности витринита (R°, %). Современная температурная зональность осадочного чехла приведена на рис. 5.

Характер распределения плотности тепловых потоков в регионе показан на рис. 6. Здесь видно, что зона максимальных значений (50—62 мВт/м<sup>2</sup>) тепловых потоков HF — Heat Flow протягивается в диагональном направлении от северной части Терско-Каспийского прогиба и центра Ногайской ступени в сторону Ставропольского свода и Восточно-Кубанской впадины по направлению юго-восток — северо-запад, затрагивая и мегантиклинорий Большого Кавказа.

В районе площадей Чкаловская и Довсунская выделяются отдельные минимумы (35—40 мВт/м<sup>2</sup>). В южной части Терско-Каспийского прогиба, а также в зоне Манычских прогибов значения тепловых потоков относительно невелики (20—35 мВт/м<sup>2</sup>). Восточная часть изучаемого региона также характеризуется небольшими значениями HF — не более 36 мВт/м<sup>2</sup>. «Для характеристики нефтематеринских отложений при моделировании были использованы исходные значения следующих геохимиче-



Рис. 6. Модель распределения тепловых потоков в изучаемом регионе (с местоположением скважин)

#### ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА OIL AND GAS FIELD GEOLOGY





Рис. 7. 3D катагенетическая модель осадочного чехла Центрального и Восточного Предкавказья (желтой линией выделена кровля хадумской свиты)

ских параметров:  $C_{opr}$  — процентное содержание органического углерода в осадочных породах; HI (водородный индекс) — отношение количества сгенерированных УВ (пик S<sub>2</sub> на диаграмме пиролиза Rock-Eval) к Сорг; Тип OB — тип керогена, определяется главным образом на основе химической и углепетрографической характеристик керогена» [6,7].

По результатам моделирования (рис. 7) верхняя граница ГЗН для Терско-Каспийского прогиба в разных тектонических зонах фиксируется на глубинах от 2700 до 3500 м, нижняя граница ГЗН приурочена к глубинам от 4000 до 5000 м. В нижнюю зону генерации газа хадумские отложения вошли только в глубокопогруженной части Терско-Каспийского прогиба на глубинах 5600—6000 м. В региональном плане отмечается возрастание катагенеза в юго-восточном направлении (от кряжа Карпинского к наиболее погруженной части Терско-Каспийского прогиба). На двумерных катагенетических моделях по серии субмеридиональных сейсмопрофилей отчетливо выделяется ряд очагов нефтеобразования в пределах наиболее погруженных частей передового прогиба (Осетинской, Чеченской и Сулакской впадин). Так, на профиле RegI (скв. Карабулак-Ачалуки-172 — скв. Тукуйская-1) наиболее погруженной областью является Осетинская впадина, которая может являться основным очагом генерации углеводородов, локальный подочаг можно выделить в Алханчуртской синклинальной зоне, разделяющей поднятия Сунженской и Терской антиклинальных зон (рис. 8). Глубина расположения очагов соответствует интервалу от 2800 до 5000 м.

На профиле RegV (скв. Беной-45 — скв. Пологая-351) очаг нефтеобразования приурочен к Сулакскому прогибу (рис. 8 б).

В дагестанской части передового прогиба глубинный интервал очага нефтеобразования распо-



**Рис. 8. Катагенетическая зональность осадочного чехла:** а- по профилю RegI (скв. Карабулак-Ачалуки-172 – скв. Тукуйская-1) по профилю RegI; RegV (скв.Беной-45 – скв.Пологая-351); по профилю RegVII (скв.Алмало-1 – скв. Сев.Сулакская-2)



лагается заметно выше, чем в Терско-Сунженской зоне (рис. 8 в), что, вероятно, объясняется более жесткими термобарическими условиями.

#### Заключение

По результатам проведенных исследований по бассейновому моделированию процессов генерации, эмиграции и аккумуляции углеводородов выполнена реконструкция истории нефтегазообразования и нефтегазонакопления в осадочном чехле региона. Определены местоположение возможных очагов генерации УВ в осадочном чехле, пути миграции, фазовый состав УВ, интенсивность углеводородонасыщения в пределах отдельных тектонических зон и структур. Основные очаги генерации УВ в южной части исследуемого региона располагаются в Чеченской впадине (Терско-Каспийский прогиб), на платформенной части — в зоне Манычского прогиба и Ногайской ступени.

На основе сопоставления результатов проведенного моделирования с фактическими данными поисково-разведочных работ обоснована адекватность полученных моделей реальным природным объектам, что позволяет их использовать для последующей разработки рекомендаций по проведению поисково-разведочных работ на нефть и газ на территории Центрального и Восточного Предкавказья.

Результаты моделирования согласуются с фактическими данными, полученными в процессе многолетних поисково-разведочных работ в регионе, что подчеркивает корректность проведенного моделирования. Так, по данным моделирования залежи углеводородов приурочены к коллекторам хемогенных известняков верхнего мела на площадях: Андреевская, Старогрозненская, Хаян-Корт, Правобережное. Степень насыщенности коллекторов, без учета разработки месторождений, высокая – до 80-90%. В процессе поискового бурения на этих структурах были открыты промышленные скопления нефти. В платформенной части территории, согласно проведенному двумерному моделированию, скопления УВ в юрских отложениях фиксируются на Южно-Буйнакском, Майском, Октябрьском площадях, что также подтверждено в ходе буровых работ.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Абубакарова Э.А. Выделение тектонических структур Терско-Каспийского прогиба по геолого-геофизическим данным: автореферат дис. ... кандидата геолого-минералогических наук // Рос. гос. геологоразведоч. ун-т им. С. Орджоникидзе, Москва, 2012, 21 с.
- Атлас литолого-палеогеографических, структурных, палинспатических и геоэкологических карт Центральной Евразии. Алма-Ата: НИИ Природных ресурсов ЮГГЕО. 2002.
- Баженова О.К., Фадеева Н.П., Петриченко Ю.А. Положение главной зоны нефтеобразования в Индоло-Кубанском прогибе // Материалы пятой международной конференции «Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа». М.: Моск. ун-та, 2001. С. 36–38.
- Короновский Н.В., Зайцев В.А., Панина Л.В. Современная геодинамика Скифской плиты по данным тектонофизического моделирования / Материалы XLIII Тектонического совещания «Тектоника и геодинамика складчатых поясов и платформ фанерозоя». М.: ГЕОС. 2010, Т. 1. С. 372–376.
- Сен-Жермес М.Л., Баженова О.К., Боден Ф., Запорожец Н.И., Фадеева Н.П. Органическое вещество в майкопских отложениях олигоцена Северного Кавказа// Литология и полезные ископаемые. 2000. № 1. С. 56–73.
- 6. Яндарбиев Н.Ш., Даштиев З.К. О возможностях поисков «сланцевых» залежей нефти и газа в Предкавказье // Региональная геология и нефтегазоносность Кавказа. Материалы научно-практической конференции, посвященной памяти засл. геолога РФ Д.А. Мирзоева. Махачкала, 2012. С. 234–236.
- Яндарбиев Н.Ш., Бачин С.И., Моллаев З.Х., Гайдук В.В., Ульянов Г.В. Прогноз нефтегазоносности юр-

ских отложений в западной части Терско-Каспийского прогиба на основе бассейнового моделирования // Геология нефти и газа. 2014. № 3. С. 17–26.

- Espitalie J., Deroo G., Marquis F. La pyrolyse Rock-Eval et ses applications. Revue de l'Institut Francais du petrole, 1986. vol. 41. N 1.
- Guliyev I.S., Kerimov V.Y., Mustaev R.N., Bondarev A.V. The estimation of the generation potential of the low permeable shale strata of the maikop caucasian series // SOCAR Proceedings, 2018, (1), 4–20.
- Peters K.E. Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis //AAPG Bulletin. 1986. V. 70. N 3. P. 318.8
- 11. Mavko G., Mukerji T., Dvorkin J. The Rock Physics Handbook, Tools for Seismic Analysis in Porous Media, 2009, Cambridge University Press, 2nd edition.
- Mustaev R.N., Zakharchenko, M.V., Kerimova L.I., Salihova I.M. Chemical structure of kerogen of shale formations (By the Example of the Shale Formations of the East European Platform) // Oriental Journal of Chemistry, 2018, 34(5), 2317-2324
- 13. Mustaev R.N., Serov S.G., Serikova U.S., Kerimova L.I., Ismailov D.D. Assessment of the oil and gas potential of the maikop series ciscaucasia based on the results of hydrocarbon systems modeling (Conference Paper). Geomodel 2017 – 19th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development. Volume 2017 – September, 2017; Gelendzhik; Russian Federation; 11 September 2017 до 14 September 2017; Code 135105.

#### REFERENCES

- Abubakarova J.A. Vydelenie tektonicheskih struktur Tersko-Kaspijskogo progiba po geologo-geofizicheskim dannym: avtoreferat dis. ... kandidata geologo-mineralogicheskih nauk. Ros. gos. geologorazvedoch. un-t im. S. Ordzhonikidze, Mosk-va, 2012, 21 p. (in Russian).
- 2. Atlas litologo-paleogeograficheskih, strukturnyh, palinspaticheskih i geojekologicheskih kart Central'noj Evrazii. Alma-Ata: NII Prirodnyh resursov JuGGEO, 2002. (in Russian)
- 3. Bazhenova O.K., Fadeeva N.P., Petrichenko Ju.A. Polozhenie glavnoj zony nefteobrazovanija v Indolo-Kubanskom

progibe. Materialy pjatoj mezhdunarodnoj konferencii «Novye idei v geologii i geohimii nefti i gaza». M.: Mosk. un-ta, 2001, pp. 36–38. (in Russian)

- pp. 36-38. (in Russian)
  Koronovskij N.V., Zajcev V.A., Panina L.V. Sovremennaja geodinamika Skifskoj plity po dannym tektonofizicheskogo modelirovanija. Materialy XLIII Tektonicheskogo soveshhanija «Tektonika i geodinamika skladchatyh pojasov i platform fanerozoja». M.: GEOS, 2010, Tom 1, pp. 372-376. (in Russian)
- Sen-Zhermes M.L., Bazhenova O.K., Boden F., Zaporozhec N.I., Fadeeva N.P. Organicheskoe veshhestvo v majkopskih otlozhenijah oligocena Severnogo Kavkaza. *Litologija i poleznye iskopaemye*, 2000, no 1, pp. 56-73. (in Russian)
   Jandarbiev N.Sh., Dashtiev Z.K. O vozmozhnostjah poiskov
- Jandarbiev N.Sh., Dashtiev Z.K. O vozmozhnostjah poiskov «slancevyh» zalezhej nefti i gaza v Predkavkaz'e. Regional'naja geologija i neftegazonosnost' Kavkaza. *Materialy nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj pamjati zasl. geologa RF D.A. Mirzoeva*, Mahachkala, 2012, pp. 234–236. (in Russian)
   Jandarbiev N.Sh., Dashtiev Z.K. O vozmozhnostjah poiskov
- Jandarbiev N.Sh., Dashtiev Z.K. O vozmozhnostjah poiskov «slancevyh» zalezhej nefti i gaza v Predkavkaz'e. Regional'naja geologija i neftegazonosnost' Kavkaza. Materialy nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj pamjati zasl. geologa RF D.A. Mirzoeva, Mahachkala, 2012, pp. 234–236. (in Russian)
- 8. Espitalie J., Deroo G., Marquis F. La pyrolyse Rock-Eval et ses applications. *Revue de l'Institut Francais du petrole*, 1986, vol. 41, no 1.

- Guliyev I.S., Kerimov V.Y., Mustaev R.N., Bondarev A.V. The estimation of the generation potential of the low permeable shale strata of the maikop caucasian series. SOCAR Proceedings, 2018, (1), 4-20.
- Peters K.E. Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis. *AAPG Bulletin*, 1986, V. 70. no 3, P. 318.8.
- 11. Mavko G., Mukerji T., Dvorkin J. *The Rock Physics Hand- book, Tools for Seismic Analysis in Porous Media*, 2009, Cambridge University Press, 2nd edition.
- 12. Mustaev, R.N., Zakharchenko M.V., Kerimova L.I., Salihova I.M. Chemical structure of kerogen of shale formations (By the Example of the Shale Formations of the East European Platform). *Oriental Journal of Chemistry*, 2018, 34(5), 2317-2324.
- Mustaev R.N., Serov S.G., Serikova U.S., Kerimova L.I., Ismailov D.D. Assessment of the oil and gas potential of the maikop series ciscaucasia based on the results of hydrocarbon systems modeling (Conference Paper). Geomodel 2017 – 19th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development. Volume 2017 – September, 2017, Gelendzhik, Russian Federation, 11 September 2017 до 14 September 2017, Code 135105.
## ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕЛКА

2019, № 6

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ GEOPHISICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

УДК 004.94:534.2

## АНАЛИЗ ПОДХОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МОДЕЛИРОВАНИЕМ ДАННЫХ СКВАЖИННОЙ ШУМОМЕТРИИ

### Н.В. МУТОВКИН

Московский физико-технический институт 9, Институтский пер., г. Долгопрудный 141701, Россия e-mail: mutovkin@phystech.edu

Оценка фазового состава флюида в скважине на основе анализа частот радиальных резонансных мод, возбуждаемых акустическим шумом в зоне притока, является перспективным методом интерпретации результатов пассивной шумометрии. Машинное обучение позволяет учитывать многие факторы, влияющие на спектр измеряемого сигнала, выделяя из них именно те, которые связаны с изменением фазового состава. Для построения наилучшей модели в работе рассмотрены такие подходы машинного обучения, как линейная регрессия с различными вариантами регуляризации, байесовская регрессия, нейронная сеть, методы опорных векторов, решающего дерева, случайного леса и градиентного бустинга. Наборы данных для обучения и тестирования алгоритма получены на основе рассчитанных по двумерной математической модели сценариев с различными значениями параметров пласта и соотношения объемных долей флюидов, заполняющих скважину. Проверено влияние на точность оценки фазового состава различных факторов, в числе которых наличие корпуса акустического прибора, посторонний шум в сигнале и формы спектра сигнала. Показано, что при отсутствии искажений данных можно построить модели, обеспечивающие абсолютную ошибку в оценке фазового состава порядка 1% после зоны притока флюида и порядка 5% в зоне до притока.

Ключевые слова: акустический шум; интерпретация; машинное обучение; линейная регрессия; метод опорных векторов; случайный лес; градиентный бустинг; нейронная сеть.

https://doi.org/10.32454/0016-7762-2019-6-73-79

## ANALYSIS OF MACHINE LEARNING APPROACHES FOR THE INTERPRETATION OF ACOUSTIC FIELDS OBTAINED BY WELL NOISE DATA MODELLING

## NIKITA V. MUTOVKIN

<sup>1</sup>Moscow Institute of Physics and Technology 9, Institutskiv Per., Dolgoprudny, Moscow Region 141701, Russia e-mail: mutovkin@phystech.edu

Assessing the phase composition of the fluid in a well based analysis of the frequencies of the radial resonance modes excited by acoustic noise in the inflow zone is a promising method for interpreting the results of passive noise metering. Machine learning makes it possible to take into account many factors affecting the spectrum of the measured signal, extracting from them exactly those factors associated with a change in phase composition. In order to build the best model, machine learning approaches such as linear regression with different variants of regularisation, Bayesian regression, neural net, methods of supporting vectors, decision tree, random forest and gradient boosting are considered. Data sets for training and testing the algorithm were obtained on the basis of scenarios calculated using a two-dimensional mathematical model with the different values of the bed parameters and ratio of volume fractions of the well filling fluids. The effect on the assessment accuracy of the phase composition of various factors, including the presence of acoustic device housing, the foreign noise in the signal and the shape of the signal spectrum, was checked. It is shown that in the absence of data distortion, it is possible to build models that provide an absolute error in the assessment of the phase composition about 1% after the zone of fluid inflow and about 5% in the zone before the inflow.

Keywords: acoustic noise; interpretation; machine learning; linear regression; reference vector method; random forest; gradient boosting; neural net.

\*Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License. 😰 🛈



Измерение и последующая интерпретация акустического шума в скважине играет важную роль при мониторинге добычи нефти и газа [1]. Одним из источников сигнала является шум, генерируемый при фильтрации флюида в пористой среде. Природа возникновения такого шума обсуждалась во многих работах, как теоретических, так и экспериментальных [2-6]. На основе анализа характеристик таких шумов возможно оценить границы потока в пласте. Прямое моделирование [7-8] акустического поля, порожденного шумом такого типа, показало, что в спектре регистрируемого в скважине сигнала наблюдаются резонансные моды, зависящие от таких факторов как параметры пластов, геометрия скважины, геометрия акустического прибора и свойства флюида, заполняющего скважину.

В [9] предложен подход интерпретации акустического поля для решения задачи оценки фазового состава флюида в скважине. В качестве примера приводится ситуация с прорывом потока воды из пласта в нефтедобывающую скважину, в результате чего в стволе меняется состав двухфазного потока (нефть + вода). Соответственно, необходимо оценить соотношения долей воды и нефти в стволе до и после зоны притока на основе записанного прибором в скважине акустического сигнала. При этом предполагается, что доля воды после и в зоне притока одинакова и далее в качестве неизвестной считается доля воды после притока. Подход основан на чувствительности резонансной картины сигналов в скважине к соотношению долей воды и нефти в стволе скважины (рис. 1). Задача оценки соотношения долей нефти и воды рассматривается как задача регрессии и решается с помощью метода гребневой регрессии.

Цель настоящей работы — улучшить точность и надежность предсказания при проведении интерпретации с использованием того же признакового вектора как и в [9], но рассмотрев другие методы машинного обучения, в том числе линейную регрессию с регуляризацией, метод опорных векторов, методы основанные на решающих деревьях и нейронные сети [10–11]. Кроме того, исследуется влияние факторов, затрудняющих интерпретацию акустического поля в скважине, в числе которых учет корпуса акустического прибора, форма спектра источника шума и случайный шум.



**Рис. 1. Рассчитанные спектры акустического поля в скважине при разных соотношениях долей воды и нефти:** сверху — 40% воды, снизу — 80% воды, слева — распределения амплитуд спектров сигналов по глубине вдоль ствола скважины, справа — амплитуды спектра сигнала в середине зоны притока. Красные линии соответствуют границам зоны притока.



#### Материалы и методы

Алгоритм интерпретации акустического поля в скважине использует методы машинного обучения с учителем. Вначале формируется набор сценариев для модели с различными свойствами пласта и флюида, заполняющего скважину. Для каждого из сформированных сценариев выполняется расчет по двумерной численной модели [12], по результату которого записываются сигналы акустического давления в точках вдоль ствола скважины. На основе их спектров (рис. 1) составляется набор входных данных из признаковых векторов для машинного обучения. Целевыми переменными в задаче являются числовые значения долей воды до и после зоны притока.

Конфигурация для поставленной задачи рассматривается в двух вариантах: с учетом и без учета корпуса акустического прибора, считывающего сигнал. Таким образом, мы получаем два однотипных набора данных, что позволит нам оценить влияние прибора на точность интерпретации.

Параметры модели подразделяются на фиксированные и варьируемые. К фиксированным отнесены: геометрические размеры, свойства пластов, нефти, воды и материала корпуса акустического прибора. В качестве варьируемых параметров рассматриваются доли воды в скважине до и после зоны притока, ширина зоны притока, меняющаяся в диапазоне от 0,5 м до 3,5 м с шагом 0,5 м и один из параметров породы, для которого было выбрано 3 значения. Для долей воды были взяты значения от 10% до 90% с шагом в 10% и с условием, что после зоны притока доля воды выше, чем до нее.

Для каждого сценария мы формируем признаковый вектор. Его компоненты вычисляются по амплитудам частот в спектре (рис. 1). Опишем процесс этого вычисления. После расчета очередного сценария мы получаем сигналы акустического давления p(t) в точках сетки  $z_i$  (рис. 2). В реальных скважинах регистрация акустического сигнала выполняется с некоторым шагом по стволу, мы фиксируем этот шаг d = 1 м. Каждому сценарию мы назначаем три варианта координат точек регистрации, выбирая случайным образом координату первой точки слева от z = 0. Значения сигнала в точках регистрации вычисляется усреднением по  $N_w$  сеточным узлам  $z_i$ , в которых записаны данные, попавшим в окно шириной w = 0,06 м.

Так как реальные данные шумометрии искажены посторонними сигналами, в каждой точке регистрации к акустическому сигналу добавляется искусственный шум:

$$p_n(z_r,t_j) = p(z_r,t_j) + 0, 2C_N \max_{z_r,t_j} p(z_r,t)\xi(t_j).$$

Здесь,  $C_N$  — относительная амплитуда постороннего шума, меняющаяся от 0 до 0,25 (25%);  $\xi(t_j)$  — равномерно распределенная случайная величина на отрезке [-1, 1]. Максимум, используемый для нормировки, берется по всем точкам регистрации и по всем моментам времени  $t_j$ . Эмпирический коэффициент 0,2 в формуле возник из-за того, что в зоне притока на резонансных частотах уровень сигнала возрастает приблизительно в 5 раз по сравнению с фоновым уровнем сигнала вне притока (рис. 1).

Для вычисления спектров применяется быстрое преобразование Фурье *FFT* и обычным усреднением формируются 65 частотных компонент, лежащих в диапазоне от 2 до 15 кГц с шагом 200 Гц.

Чтобы получить окончательный признаковый вектор, точки регистрации группируются по их расположению: до притока, в зоне притока и после притока. В нашей постановке доли воды после притока и в притоке предполагаются одинаковыми, поэтому точки регистрации, лежащие после зоны притока, исключаются. Ширина зоны притока при этом считается известной. Компоненты признакового вектора, соответствующие зоне до притока рассчитываются усреднением по точкам регистрации, лежащим в этой зоне. Для получения компонент признакового вектора в зоне притока выбирается одна точка регистрации с максимальной интенсивностью.



Рис. 2. Расположение точек регистрации

Перебор всех комбинаций варьируемых параметров в заданных наборах значений позволяет сгенерировать 2268 различных сценариев.

Задача оценки доли воды рассматривается как задача регрессии. Для построения наиболее точных моделей были рассмотрены следующие подходы: линейная регрессия (ЛР1), гребневая регрессия (ГР), лассо регрессия (ЛР2), elastic net (EN), байесовская регрессия (БР), решающее дерево (РД), случайный лес (СЛ), градиентный бустинг (ГБ), метод опорных векторов (МОВ), нейронная сеть с одним скрытым слоем (НС) [10—11].

Набор данных разбивается на обучающую и тестовую выборку в соотношении 60% на 40%. На обучающей выборке проводится кросс-валидация. Метрикой качества предсказания является вели чина RMSE,  $\sqrt{(y_{true} - y_{pred})^2}$ , где  $y_{true}$  и  $y_{pred}$  — истинные и предсказанные доли воды соответственно. Поскольку доля воды уже является нормированной величиной (0% ÷ 100%), используемая величина RMSE служит мерой абсолютной ошибки предсказания. Рассмотренный выше алгоритм реализован на языке программирования Python с использованием библиотеки Scikit-learn [13].

Отметим, что обучение моделей, основанных на линейной регрессии, гребневой регрессии, лассо регрессии, elastic net, решающем дереве или методе байесовской регрессии занимает несколько секунд на обычном ноутбуке. Для методов градиентного бустинга, случайного леса и опорных векторов время обучения модели увеличивается до 3—5 минут. Наибольшее время требуется для обучения нейронной сети — 10 минут (4000 эпох).

#### Результаты и обсуждение

Сначала изучим влияние постороннего шума на точность оценки для случая прямоугольного

спектра. На рис. 3 сравниваются ошибки оценок (RMSE) для разных методов машинного обучения при разном уровне постороннего шума.

По приведенным диаграммам можно видеть, что методы, основанные на линейной регрессии, а также методы байесовской регрессии и опорных векторов демонстрируют схожие результаты по точности оценки долей воды до и после зоны притока. Таким образом, использование регуляризаторов (L2, L1 и их смеси) в линейной регрессии слабо влияет на точность предсказания долей воды. Метод с одним решающим деревом показывает чуть более слабые результаты по точности при наличии постороннего шума. В то же время, методы градиентного бустинга и случайного леса, а также нейронная сеть дают существенное улучшение точности, особенно после притока.

Далее, сравним эффективность методов машинного обучения для разных форм спектра сигнала источника без учета постороннего шума. В [7—9] рассмотрен прямоугольный спектр в интервале 2—15 кГц. В этой работе добавлены наборы данных с убывающим степенным спектром и спектром с локальным максимумом. Результаты тестирования на этих наборах данных с различными формами спектра сигнала от источника показали, что для всех типов спектра RMSE примерно одинакова. При этом наилучшие результаты демонстрируют случайный лес, градиентный бустинг и нейронная сеть со значением RMSE в отсутствии постороннего шума от 0,7% до 1,5% после зоны притока и от 4% до 6% — до зоны притока. Таким образом, форма спектра сигнала источника оказывает слабое влияние на ошибку оценки доли воды в скважине.



Проанализируем влияние наличия корпуса акустического прибора на точность оценки фазового состава. Тестирование на наборе данных с учетом



Рис. 3. RMSE для прямоугольного спектра при разном уровне постороннего шума: слева — после зоны притока, справа — до зоны притока. Расшифровка названий методов представлена в разделе «Материалы и методы»

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ GEOPHISICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION





Рис. 4. Сравнение RMSE для основного и дополнительного наборов данных (после зоны притока): слева — случайный лес, посередине — градиентный бустинг, справа — нейронная сеть



Рис. 5. Сравнение RMSE для основного и дополнительного наборов данных (до зоны притока): слева — случайный лес, посередине — градиентный бустинг, справа — нейронная сеть

прибора в скважине показывает, что в отсутствии постороннего шума RMSE увеличивается приблизительно от 1% до 2% после зоны притока и от 4—6% до 5—7% до зоны притока по сравнению с данными без учета прибора. Добавление постороннего шума увеличивает это отличие до 3 процентных пунктов до зоны притока. Поэтому, можно заключить, что учет прибора приводит к вполне приемлемому ухудшению точности оценки фазового состава.

В заключение изучим насколько падает точность интерпретации для случая, когда тестовая и обучающая выборки формируются по отличающимся наборам варьируемых параметров. Для этого был сгенерирован дополнительный набор данных аналогично ранее приведенной процедуре. В нем доли воды варьируются от 13% до 91% с шагом 13%, а ширина зоны прорыва — от 0,8 до 3,2 м с шагом 0,8 м; для параметра породы взято 2 значения (отличающихся от исходных в обучающей выборке). При переборе всех комбинаций варьируемых параметров в этом наборе данных с учетом того, что каждому сценарию назначается три варианта координат точек регистрации, получается 504 различных сценария. В качестве обучающей выборки для алгоритма машинного обучения берутся те же 60% от ранее сформированного основного набора данных. Тестовой выборкой служит либо оставшиеся 40% основного набора, либо дополнительный набор данных.

На рис. 4, рис. 5 сравниваются точности оценок долей воды на основном и дополнительном тестовых наборах данных. Из них видно, что после зоны притока RMSE на дополнительном наборе данных увеличивается примерно на 0,5-1,5 процентных пункта по сравнению с основным, например для нейронной сети в отсутствии постороннего шума ошибка увеличивается с 1,1% до 1,9%. Интересно отметить, что до зоны притока наблюдается разное поведение RMSE при разных уровнях постороннего шума: ошибка возрастает или падает для постороннего шума 0% и 25%, соответственно.

Исходя из приведенных результатов, можно сделать вывод, что построенные модели машинного обучения демонстрируют хорошую точность предсказания и на наборе данных, посчитанном с другими значениями физических параметров.

#### Заключение

В работе рассмотрены различные модели машинного обучения с целью улучшения точности предложенного в [9] подхода интерпретации аку-

стического шума, вызываемого фильтрацией флю-ида через пористую среду.

В качестве данных для обучения и тестирования использованы акустические поля, рассчитанные прямым моделированием для большого количества сценариев. При этом наборы данных формировались с учетом или без учета акустического прибора, с различной формой спектра источника, и с добавлением искусственного постороннего шума к сигналу. Для тестирования был также построен набор данных на основе сценариев с отличающимися от обучающей выборки варьируемыми параметрами.

Из десяти моделей машинного обучения отобраны те, которые показали наилучший результат, а именно: градиентный бустинг, случайный лес и нейронная сеть. В отсутствии постороннего шума в сигнале прибора соотношения долей воды и нефти оцениваются с абсолютной ошибкой в доле воды 1% после зоны притока и 4-6% в зоне до притока. Добавление постороннего шума до 25% в интерпретационную модель может увеличить ошибку до 2.5% после зоны притока и до 13% до притока.

Изучение влияния факторов, затрудняющих интерпретацию регистрируемого шума, позволило выявить, что форма спектра сигнала от источника почти не влияет на точность оценки фазового состава (в работе она предполагается известной и одинаковой для обучающей и тестовой выборок), в то время как наличие корпуса акустического прибора в скважине увеличивает абсолютную величину ошибки предсказания на 0,5—3 процентных пункта в зависимости от уровня постороннего шума, искажающего сигнал.

Построенные модели также показывают хорошие результаты интерпретации на наборе данных, для формирования которого использовались сценарии с другим набором значений долей воды в скважине и другими значениями ширины зоны прорыва воды, по сравнению с обучающими данными.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что для предложенного в [9] подхода можно построить достаточно точные предсказательные модели, причем устойчивые к ряду факторов, затрудняющих интерпретацию. Это позволяет рассматривать данный подход как основу для разработки методов оценки параметров фазового состава флюида в скважине на основе полевых данных.

Автор выражает благодарность Д.Н. Михайлову и И.Л. Софронову за плодотворные обсуждения и помощь в ходе написания статьи, а также компании Шлюмберже за возможность опубликовать представленные результаты.

### ЛИТЕРАТУРА

- Ипатов А.И., Кременецкий М.И. Геофизический и гидродинамический контроль разработки месторождений углеводородов. М.: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2006. 780 с.
- 2. Николаев С.А., Овчинников М.Н. Генерация звука фильтрационным потоком в пористых средах // Акустический журнал. 1992 Т. 38. № 1. С. 114–118.
- Красновидов Е.Ю. Создание методики акустико-гидродинамических исследований пористых сред и скважин. Дис. канд. тех. наук. Москва, 2005. 171 с.
- DiCarlo D.A., Cidoncha J.I.G., Hickey C. Acoustic measurements of pore-scale displacements // Geophysical Research Letters, 2003. Vol. 30. N 17. P. HLS 2-1–2-5. DOI: 10.1029/2003GL017811.
- Mikhailov D.N., Sergeev S.I. Investigation parameters for sound induced by fluid displacement in rock samples // Water Resources Research, 2019. Vol. 55. N 5. P. 4220–4232. DOI: 10.1029/2018WR024168.
- Марфин Е.А., Гайфутдинов Р.Р., Метелев И.С. Исследование интенсивности акустической эмиссии при фильтрации газа через пористые среды // Геомодель, Геленджик, 2018. DOI: 10.3997/2214-4609.201802405.
- 7. Мутовкин Н.В., Михайлов Д.Н., Софронов И.Л. Моделирование акустических полей, генерируемых фильтра-

ционным потоком в околоскважинной зоне // Математическое моделирование, 2019. Т. 31, № 6. С. 95–106. DOI: 10.1134/S0234087919060066.

- Мутовкин Н.В., Михайлов Д.Н., Софронов И.Л. Анализ результатов моделирования акустических полей, возбуждаемых течением флюида в пласте // Геомодель, Геленджик, 2018. DOI: 10.3997/2214-4609.201802388.
- Мутовкин Н.В., Михайлов Д.Н., Софронов И.Л. Оценка изменения фазового состава флюида в скважине на основе данных пассивной акустической шумометрии // Российская нефтегазовая техническая конференция SPE, Москва, 2019. ID: SPE-196845-RU. 16 с.
- 10. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J.H. The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction. Springer Series in Statistics, 2009. 745 p.
- Bishop M. Pattern recognition and machine learning. Springer-Verlag New York, 2006. 738 p.
- Plyushchenkov B.D. Turchaninov V.I. Acoustic Logging Modeling by Refined Biot's Equations // Int. J. Mod. Phys. C., 2000. Vol. 11. N 2. P. 365–397.
- Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A. et al. Scikitlearn: Machine Learning in Python // Journal of Machine Learning Research, 2011. Vol. 12. P. 2825–2830.



#### REFERENCES

- Ipatov A.I, Kremenetskiy M.I. Geofizicheskiy i gidrodinamicheskiy kontrol' razrabotki mestorozhdeniy uglevodorodov. Moscow, NITs «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika», 2006, 780 p. (In Russian)
- Nikolaev S.A., Ovchinnikov M.N. Generatsiia zvuka filtratsionnym potokom v poristykh sredakh. *Akusticheskii zhurnal*, 1992, Vol. 38, no 1, pp. 114–118. (In Russian)
- 3. Krasnovidov E.Yu. Sozdanie metodiki akustiko-gidrodinamicheskikh issledovaniy poristykh sred i skvazhin. Diss. kand. tech. nauk. Moscow, 2005, 171 p. (In Russian)
- DiCarlo D.A., Cidoncha J.I.G., Hickey C. Acoustic measurements of pore-scale displacements. *Geophysical Research Letters*, 2003, Vol. 30, no 17, P. HLS 2-1–2-5. DOI: 10.1029/2003GL017811.
- Mikhailov D.N., Sergeev S.I. Investigation parameters for sound induced by fluid displacement in rock samples. Water Resources Research, 2019, Vol. 55, no 5, P. 4220–4232. DOI: 10.1029/2018WR024168.
- Marfin E.A., Gaifutdinov R.R., Metelev I.S. Investigation of the Intensity of Acoustic Emission During Gas Filtration Through Porous Media. Geomodel, Gelendzhik, 2018, DOI: 10.3997/2214-4609.201802405. (In Russian)

- Mutovkin N.V., Mikhailov D.N., Sofronov I.L. Modeling of acoustic fields excided by fluid flow in near-wellbore zone. Mathematical Models and Computer Simulations, 2019, Vol. 31, no 6. pp. 95–106. DOI: 10.1134/S0234087919060066.
- Mutovkin N.V., Mikhailov D.N., Sofronov I.L. Analysis of Modeling of Acoustic Fields Excited by the Flow Noise in the Formation Inflow Zones. Geomodel, Gelendzhik, 2018. DOI: 10.3997/2214-4609.201802388. (In Russian).
- Mutovkin N.V., Mikhailov D.N., Sofronov I.L. Estimation of fluid phase composition variation along the wellbore by analyzing passive acoustic logging data. SPE Russian Petroleum Technology Conference, Moscow, 2019. ID: SPE-196845-MS. 15 p.
- Hastie T., Tibshirani R., Friedman J.H. The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction. Springer Series in Statistics, 2009, 745 p.
- 11. Bishop M. Pattern recognition and machine learning. Springer-Verlag New York, 2006, 738 p.
- Plyushchenkov B.D. Turchaninov V.I. 2000. Acoustic Logging Modeling by Refined Biot's Equations. Int. J. Mod. Phys. C., 2000, Vol. 11, no 2, pp. 365–397.
- Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A. et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 2011, Vol. 12, pp. 2825–2830.

## ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

2019, № 6

## ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ GEOLOGICAL EXPLORATION TECHNIQUE

УДК62.643.622

## О ПРИМЕНЕНИИ БЕНТОНИТА ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

А.Г. ИВАНОВ<sup>1</sup>, С.А. АЛЕКСАНДРОВ<sup>2</sup>, И.А. КУРАШОВ<sup>3</sup>, Д.А. ИВАНОВ<sup>4</sup>, П.Е. ШИХОВ<sup>5</sup>, Ю.А. АРСЕНТЬЕВ<sup>6</sup>, А.П. НАЗАРОВ<sup>6</sup>, О.Ю. ГЛОТОВА<sup>7</sup>

<sup>1</sup>АО «Атомредметзолото» 22, Б, Дровяной пер., г. Москва 109004, Россия e-mail: Alek Geor Ivanov@armz.ru

<sup>2</sup>ТОО СП «Инкай» 1 г. Мадели кожа ул., Шымкент 160021, Республика Казахстан e-mail: salex 702@list.ru

<sup>3</sup>АО «Русбурмаш» 59, стр. 2, Земляной вал ул., г. Москва 109004, Россия e-mail: kurashovia@rbm-armz.ru

> <sup>4</sup>Компания «Weatherford» 4, 4-й Лесной пер., Москва 109004, Россия e-mail: dexhouse@ya.ru

<sup>5</sup>АО «Далур» 1, Лесная ул., Уксянское с., Далматовский район, Курганская обл. 641750, Россия e-mail: PESikhov@rosatom.ru

<sup>6</sup>ФГБУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117977, Россия e-mail: arsentev1956@yandex.ru

<sup>7</sup>АО «ГСПИ»

4, ул. Шарикоподиипниковская, г. Москва 115088, Россия e-mail: info@aogspi.ru

Добыча урана методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ) производится из продуктивных водоносных горизонтов, представленных песками различной крупности. Вскрытие пластов производится бурением технологических скважин с применением бентонитового глинистого раствора. Это сопровождается кольматацией пород прифильтровой зоны (ПФЗ). Выполненные исследования показали необходимость полного удаления из ПФЗ глинистого раствора на стадии сооружения скважин. Показано, что это можно выполнить способами поинтервального освоения фильтра или обрушением песков продуктивного горизонта при зафильтровой промывке ПФЗ технической водой. Выполнены лабораторные испытания на химическую стойкость бентогильз к воздействию рабочих растворов кислот. Определены геологические и технологические условия применения бентогильздля гидроизоляции заколонного пространства технологических скважин СПВ.

К л ю ч е в ы е с л о в а: скважина; скважинное подземное выщелачивание; бентонит; рабочий раствор серной кислоты; бентогильза; гидроизоляция.

https://doi.org/10.32454/0016-7762-2019-6-80-87

## APPLICATION OF BENTONITE FOR THE CONSTRUCTION OF PROCESS WELLS FOR BORE-HOLE MINING OF URANIUM

### ALEKSANDR G. IVANOV<sup>1</sup>, SERGEI A. ALEXANDROV<sup>2</sup>, ILIA A. KURASHOV<sup>3</sup>, DMITRII A. IVANOV<sup>4</sup>, PAVEL E. SHIKHOV<sup>5</sup>, IURII. A. ARSENTEV<sup>6</sup>, ALEKSANDR P. NAZAROV<sup>6</sup>, OLGA IU. GLOTOVA<sup>7</sup>

<sup>1</sup>JSC Atomredmetzoloto» house 22, B. Drovyanoy pereulok, Moscow 109004, Russia e-mail: alekgeorivanov@armz.ru

<sup>2</sup>Inkai JOINT house 1 G, Madeli Kozha str., Shymkent, Republik of Kazakhstan e-mail: Salex 702@list.ru

<sup>3</sup>JSC «Rusburmash» house 59, p. 2, Zemlyanoy Val str., Moscow 109004, Russia e-mail: kurashovia@rbm-armz.ru

<sup>4</sup>Weatherford 4, 4th Lesnoy Pereulok, Moscow 125047, Russia e-mail: alekgeori vanov@armz.ru

<sup>5</sup>JSC «Dalur» 1, Lesnaya str., Uksyanskoye S., Dalmatovsky district, Kurgan region 641750, Russia e-mail: PESikhov@rosatom.ru

<sup>6</sup>Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting 23, Miklukho-Maklay street, Moscow 117977, Russia e-mail: arsentev1956@yandex.ru

> <sup>7</sup>JSC «GSPI» 4, ball bearing str., Moscow 115088, Russia e-mail: info@aogspi.ru

Production of uranium by the method of bore-hole mining (BHM) is carried out from productive water-bearing formations represented by sands of various sizes. The beds are opened by the process well drilling using bentonite clay mud. This is accompanied by colmatation of the near-filter zone (NFZ) rocks. The performed studies showed the need for the complete removal of clay mud from the NFZ at the stage of well construction. It is shown that this can be done by the methods of interval-by-interval filter development or by the collapse of the productive horizon sands when NFZ after-filter washing with technical water. Laboratory tests on the chemical resistance of bentonite sleeves to the acid solutions action were carried out. Geological and process conditions for the use of bentonite sleeves for waterproofing the bore-hole annulus of process BHM wells were defined.

Keywords: well; bore-hole mining; bentonite; sulphuric acid working solution; bentonite sleeve; hydrosulation.

Добыча урана методом скважинного подземного выщелачивания производится из продуктивных горизонтов, представленных песками различной крупности: от мелкозернистых до крупнозернистых, чаще всего разнозернистых. Для эффективной отработки таких месторождений важнейшее значение имеют технологии сооружения и освоения скважин СПВ. Применяемые технологии должны обеспечить устойчивую работу скважин в течение всего времени отработки добычных блоков, которое составляет от 3 до 15 лет, в зависимости от геологических особенностей залежей. Сооружение технологических скважин СПВ урана производится в массовом порядке и измеряется сотнями единиц в год в зависимости от предприятия. На практике, как правило, в пределах одной или группы месторождений (залежей) сооружаются скважины двух типовых конструкций: откачные и закачные. При этом технологии сооружения однотипных скважин с относительно коротким сроком службы (3—15 лет), при всех прочих равных условиях, могут отличаться в зависимости от вида циркуляционного агента, применяемого при вскрытии продуктивного горизонта. В связи с этим возможны два пути реализации технологии сооружения однотипных скважин:

1) с применением полимерных промывочных растворов для вскрытия продуктивных горизонтов с последующим их освоением с помощью известных методик и технических средств;

2) с применением глинистого раствора, приготовленного на основе бентонитовых глин (порошковых или комковых).

Достоинство полимерных промывочных растворов заключается в том, что продуктивный горизонт при их применении подвержен слабой кольматации в основном частицами выбуренной породы, которые относительно легко удаляются при освоении скважин с применением широко распространенных технических средств и приёмов: эрлифтных прокачек, промывок, поинтервальным освоением фильтра и прифильтровой зоны (для случаев, когда длина фильтра превышает 6-8 м). При такой технологии затраты на освоение сооружаемых технологических скважин являются минимальными. При этом межремонтный цикл (МРЦ) для поддержания производительности скважины в пределах проектных показателей будет максимальным. Однако, указанная технология имеет свои недостатки, основными из которых являются следующие:

1) требование дополнительного и достаточно громоздкого оборудования в виде амбаров или зумпфов, гидроциклонов или вибросит, предназначенных для активной очистки полимерных растворов от бурового шлама;

2) ограничение срока применения полимерных растворов вследствие использования специфических реагентов, приводящих к распаду растворов на воду и осадок, не подлежащих перемешиванию с восстановлением первоначальных свойств;

 необходимость разбрызгивания над шламонакопителями дорогостоящих препаратов с целью устранения сильнейшего гнилостного запаха, сопровождающего процесс разложения остатков полимерных растворов;

4) высокая стоимость 1 м<sup>3</sup> полимерных растворов, изменяющаяся от 28 до 43 и более долларов США.

Кроме того, из практики применения полимерных растворов известно, что, рецептуры растворов подбираются для каждого отдельно взятого месторождения в зависимости от способа бурения, а иначе, на стенках скважины в интервале продуктивного горизонта образуется плотная полимерная плёнка, трудноудаляемая при эрлифтной прокачке, промывке и др. В этом случае необходимо применение специальных технологий и оборудования для раскольматации пород прифильтровой зоны.

Обращаясь ко второму возможному пути реализации технологии сооружения однотипных скважин с применением глинистого раствора, приготовленного на основе бентонитовых глин, следует указать на то, что процесс вскрытия продуктивного горизонта сопровождается кольматацией пород буровым шламом, собственно глинистым раствором и формированием на стенках скважины глинистой корки. А при освоении технологических скважин традиционным эрлифтным способом для вариантов с установкой фильтров длиной более 6 м продукты кольматации удаляются только из верхнего участка прифильтровой зоны, поскольку как показывают исследования, выполненные Э.А. Грикевичем [2], И.И. Гринбаумом [3] и др., скорости входа потока пластовой жидкости в фильтр уменьшаются в направлении от верхней границы фильтра к нижней. Вследствие этого процесс раскольматации прифильтровой зоны наиболее интенсивно протекает в области верхнего участка фильтра, а в области нижнего участка фильтра — идет крайне медленно или совсем отсутствует. Если участок продуктивного горизонта, приуроченный к верхнему участку фильтра, представлен песками различной крупности, то вследствие высокой входной скорости потока в этой области происходит обрушение несвязных пород с защемлением закольматированного интервала пласта. Кольматант в этом случае представлен глинистой коркой, глинистым раствором в прифильтровой зоне пласта и буровым шламом, как показано на рис. 1.



Рис. 1. Схема блокирования участков фильтра продуктами кольматации: 1 — ствол скважины; 2 — эксплуатационная колонна; 3 — проницаемые породы водоносного горизонта; 4 — фильтр; 5 — отстойник фильтра; 6 — зона обрушения пород водоносного горизонта из освоенного интервала прифильтровой зоны (ПФЗ); 7 — заблокированный неосвоенный интервал водоносного горизонта; 8 — переходная область частичного блокирования водоносного горизонта (область малых входных скоростей пластовой жидкости со слабым выносом продуктов кольматации в фильтр)



На приведенном рис. 1 показаны также: I — принципиальная схема блокирования фильтра и прифильтровой зоны (ПФЗ) продуктами кольматации; II — расходограмма притока пластовых вод в фильтр при освоении (верхний интервал фильтра); H1 — интервал ПФЗ и фильтра с полным удалением кольматанта; H2 — интервал ПФЗ и фильтра с частично удалённым кольматантом; H3 — нижний интервал ПФЗ и фильтра с неудалённым при освоении кольматантом из водоносного горизонта и барьером, состоящим из глинистого раствора и обрушенных в него из интервала H1 пород водоносного горизонта; A-Б — неработающий интервал фильтра.

Вышеприведенные утверждения убедительно подтверждаются результатами расходометрии, выполняемой как на стадии сооружения, так и эксплуатации скважин. Примеры расходограмм, выполненных для скважин различных месторождений показаны на рис. 2. Скв. 3-9-17. Интервал установки фильтра 202,3-212,0 м (длина фильтра 9,7 м). На интервал 202,3-202,8 м (0,5 м или 5,5% длины фильтра) приходится 84% поглощения жидкости при наливе, на интервал 202,8-206,5 м (3,7 м или 38,1% длины фильтра) приходится 2% поглощения, на интервал 206,5-210,2 м (3,7 м или 38,1% длины фильтра) приходится 14% поглощения. Интервал 210,2-212,0 (1,8 м или 18,3% длины фильтра) не вовлечен в работу, поэтому не вовлечен в отработку интервал оруденения 210,2-212,0 м (1,8 м).

Такой вариант неполного освоения скважины при ее сооружении приводит к тому, что глинистый раствор, заблокированный в зафильтровом пространстве и прилегающей области водоносного горизонта, при контакте с рабочими растворами кислот в процессе начала работ по извлечению урана может стать причиной резкого падения производительности скважин. Это объясняется следующим.



Рис. 2. Расходограммы для скважин различных месторождений

Анализ приведенных расходограмм показывает следующее.

Скв. 2–3–9. Интервал установки фильтра по этой скважине составляет 573,9—583,9 м (длина фильтра 10 м). На интервал 573,9—578,5 м (4,6 м или 46% от общей длины фильтра) приходится 23,3% поглощения жидкости при наливе, а на интервал 578,5—579,5 м (1,0 м или 10% от общей длины фильтра) приходится 76,7% поглощения. Интервал 579,5—583,9 м (4,4 м или 44% от общей длины фильтра) не вовлечен в работу, поэтому не вовлечен в отработку интервал оруденения 579,5— 583,15 м (3,55 м). Для вскрытия продуктивного горизонта используется чаще всего глинистый раствор на основе бентонитовых глин. Бентониты представляют собой смесь природных алюмосиликатных минералов, основу которых составляет монтмориллонит (60—70%), и являются результатом разложения вулканической лавы и пепла. Химический состав монтмориллонита может быть представлен следующей формулой: (Ca, Na) × (Mg, Al, Fe)<sub>2</sub>× (OH)<sub>2</sub>× [(Si, Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>] × nH<sub>2</sub>O [4]. Содержание окислов различных щелочных металлов и влажность для монтмориллонита колеблются в достаточно широких пределах, приведенных в табл.

Таблица Содержание окислов металлов и воды в монтмориллоните, % Al,O, MgO FeO H,O Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> CaO Na<sub>2</sub>O 0,1-29,9 0-30 0,2-3,5 0,1-3,0 0.2-1.0 12-26 0.2-31.6

Перечисленные окислы щелочных металлов и их соли активно реагируют с рабочими растворами кислот с образованием в том числе растворимых и выпадающих в осадок солей и газообразных продуктов реакций. Такие химические процессы с одной стороны снижают степень кольматации ПФЗ в интервалах H2 и H3 за счет перехода части содержащихся в монтмориллоните металлов в раствор, а, с другой стороны, нерастворённые в кислом растворе и выпавшие в осадок соли представляют кольматант, блокирующий движение рабочих растворов в нижнем интервале фильтра. На рис. 3 показана реакция глинистого раствора с рабочим раствором серной кислоты.

Глинистый раствор был приготовлен из бентонитового глинопорошка марки ПБМБ производства АО «Бентонит» (Зыряновское месторождение г. Курган). Концентрация порошка в технической воде составляла 60 кг/м<sup>3</sup> и имел плотность 1,04 г/ см<sup>3</sup>, водоотдачу 21 см<sup>3</sup>/30 мин, условную вязкость 25°С. Реакция протекала при смешении 1000 см<sup>3</sup> глинистого раствора, приготовленного из бентонита и 500 см<sup>3</sup> раствора серной кислоты в воде с концентрацией 8 г/дм<sup>3</sup>. После окончания реакции наблюдалось расслоение раствора. На приведенном рис. 3 отчетливо видны каналы выделения газообразных продуктов реакции, прежде всего СО<sub>2</sub>. Образовавшиеся каналы в дальнейшем не схлопывались. Еще один опыт был выполнен для определения химстойкости отработанного глинистого раствора. В ёмкость с 50 мл раствора было залито 10 мл раствора серной кислоты с концентрацией 8 г/дм<sup>3</sup>. При этом наблюдалось расслоение раство-



Рис. 3. Реакция глинистого раствора с раствором серной кислоты

ра на твердую и жидкую фазы, причем осевшие хлопья свернувшейся глины не слипались между собой.

Еще одним направлением использования бентонитовых (монтмориллонитовых) глин является использование их для изготовления бентогильз. Бентогильза (изделие гидроизоляционное производства ТОО «B-Clay», Республика Казахстан) состоит из бентонита и полимеров, регулирующих скорость ее набухания. Она имеет цилиндрическую форму и изготавливается опрессовкой исходного состава давлением 1,0 МПа с последующей сушкой. Способ гидроизоляции заколонного пространства с использованием такого изделия нашел применение при отработке месторождений урана методом СПВ в Республике Казахстан [5].



Рис. 4. Этапы испытания бентогильзы на химстойкость к воздействию рабочего раствора серной кислоты: I — внешний вид секций бентогильзы; II — начало реакции элемента секции бентогильзы с рабочим раствором серной кислоты с концентрацией 20 г/дм<sup>3</sup>; III — поверхность бентогильзы по окончании реакции; IV — материал бентогильзы после извлечения из емкости



На рис. 4 приведены испытания бентогильз на химстойкость к воздействию рабочих растворов для определения возможности применения их для гидроизоляции заколонного пространства технологических скважин СПВ урана в условиях месторождений АО «Хиагда» и АО «Далур».

Для проведения опыта использовался элемент бентогильзы массой 0,2 кг, который помещался в емкость и заливался рабочим раствором серной кислоты с концентрацией 8 г/дм<sup>3</sup>. При проведении испытаний разрушение бентогильзы начинается после ее контакта с рабочим раствором (рис. 4. II). В процессе контакта на поверхности образца формируется разрушенный слой с ячеистой структурой, представленный продуктами реакции материала бентогильзы с серной кислотой (рис. 4.III). Таким образом, результаты испытаний на химстойкость показали, что при контакте с рабочими растворами материал бентогильзы разрушается, превращаясь в осадок, в течение непродолжительного времени — первые часы после начала контакта (рис. 4.IV).

Проведенные опыты показали, что при использовании глинистых материалов для сооружения технологических скважин СПВ урана необходимо учитывать их влияние на надежность и сохранение производительности скважин при эксплуатации.

Как следует из вышеприведенных рассуждений, на стадии сооружения технологических скважин необходимо добиваться полного удаления глинистого раствора и его составляющих (глинистой корки) из ПФЗ в интервале установки фильтра, что позволит решить следующие основные задачи:

— достигнуть максимального дебита скважин при освоении;

 увеличить продолжительность межремонтного цикла и снизить затраты на эксплуатацию скважин;

 сократить сроки отработки эксплуатационных блоков.

Эрлифтная прокачка позволяет решить проблему декольматации  $\Pi \Phi 3$  от глинистого раствора и глинистой корки только для фильтров длиной не более 4—6 м в зависимости от свойств продуктивного горизонта.

Решением задачи максимальной декольматации ПФЗ для фильтров длиной более 4—6 м является способ поинтервального освоения фильтра. Схема его реализации приведена на рис. 5.

Способ реализуется следующим образом. После оборудования скважины эксплуатационной колонной с фильтром, выполнения работ по гидроизоляции заколонного пространства и геофи-



Рис. 5. Схема поинтервального освоения скважины: 1 – ствол скважины; 2 – эксплуатационная колонна; 3 – интервалы гидроизоляции заколонного пространства; 4 – водоподъемная колонна (шланг ПНД); 5 – воздушные трубы (шланг ПНД); 6 – фильтр; 7 – отстойник; 8, 9 – верхняя и нижняя отсекающие осваиваемый интервал фильтра эластичные (резиновые) манжеты; 10 – перфорированный интервал водоподъемной трубы; 11 – оголовник. А – кровля продуктивного горизонта (верхняя граница фильтра; В – подошва продуктивного горизонта (нижняя граница осваиваемого интервала фильтра).

зических исследований (ГИС) в эксплуатационную колонну спускаются водоподъемные трубы 4 (шланг ПНД диаметром 50-63 мм) с размещенным в них воздушными трубами 5 (шланг ПНД диаметром 16-25 мм). Длина водоподъемных труб должна соответствовать глубине сооружаемой скважины, длина воздушных труб определяется гидрогеологическими условиями конкретного месторождения (статический уровень пластовых вод, интервал залегания продуктивного горизонта и т. д.). В нижней части водоподъемных труб выполнена перфорация, интервал которой составляет 300-500 мм, при этом в торце труб также имеется отверстие диаметром до 5 мм для удаления песка из отстойника. На границах интервала перфорации на водоподъемных трубах размещены отсекающие осваиваемый интервал фильтра эластичные манжеты 8, 9. Через водоподъемные трубы до начала поинтервальной эрлифтной прокачки возможно выполнение промывки зафильтрового и внутрифильтрового пространства от глинистого раствора. Сразу после промывки производится поинтервальное освоение фильтра в направлении снизу вверх. Освоение каждого интервала производится до осветления откачиваемой пластовой жидкости. Сооруженная с применением такой технологии освоения скважина позволяет восстановить проницаемость и фильтрационные свойства пород по всей длине фильтра. Способ может быть реализован и для поинтервальной химической обработки ПФЗ, когда растворы реагентов подаются в заданный интервал по водоподъемным трубам, которые, как и манжеты 8, 9 и воздушные трубы выполнены их химстойких материалов. Он также может быть применен для освоения многоярусных фильтров.

Для максимального удаления продуктов кольматации из прифильтровой зоны может быть применен способ зафильтровой промывки с обрушением песков продуктивного горизонта, который показан на рис. 6.

Для реализации способа в состав эксплуатационной колонны между основным фильтром и отстойником включают дополнительный щелевой фильтр длиной 0,5–0,6 м с размером щели 0,35– 0,5 мм. Возможно также применение резиновых заколонных муфт [1, стр. 228] После обсадки и выполнения ГИС в колонну спускаются стальные бурильные трубы с размещённым на нижнем их конце пакерующим узлом. Пакерующий элемент размещается между основным и нижним фильтрами. После распакеровки через нижний фильтр производится промывка зафильтрового пространства технической водой. При промывке контролируется давление на буровом насосе. Промывка



Рис. 6. Способ раскольматации продуктивного горизонта обрушением слагающих пород

производится до удаления глинистого раствора и глинистой корки со стенок скважины. После обрушения пород (песок) продуктивного водоносного горизонта фиксируется рост давления на буровом насосе и прекращается выход на поверхность воды. Далее бурильные трубы с пакером извлекаются на поверхность и производится гидроизоляция заколонного пространства с дальнейшей эрлифтной прокачкой скважины.

Способ имеет ограничения по применению: обязательно наличие верхнего и нижнего водоупоров продуктивного горизонта; интервал установки основного фильтра должен соответствовать мощности продуктивного горизонта; мощность верхнего над продуктивным горизонтом водоупора должна превышать возможную высоту подъема обрушенного в заколонном пространстве песка. Его можно дополнить поинтервальным освоением ПФЗ.

Приведенные выше способы позволяют максимально устранить кольматацию пород продуктивного горизонта в интервале установки фильтра при применении для вскрытия глинистого раствора любого состава и качества.

Полученные авторами результаты по определению химической стойкости бентогильз показали, что они могут применяться в ограниченных геологическими особенностями месторождений условиях. Эти условия следующие:



— стенки скважины должны быть устойчивы в течение всего времени по спуску эксплуатационной колонны с фильтром на конечную глубину, выполнения ГИС, подтверждающих состояние соединений обсадных труб и точность установки фильтра и резерва времени на извлечении колонны на поверхность в случае возникновения аварийных ситуаций с целостностью колонны;

 в геологическом разрезе на всю глубину должны отсутствовать набухающие и пучащие породы;

— мощность верхнего над продуктивным горизонтом водоупора, в котором устанавливаются бентогильзы, должна обеспечить герметичность контакта «бентогильза — ствол скважины» исходя из того, что градиент прорыва воды по этому контакту составляет не более 0,1 МПа на 1 м бентогильзы (градиент прорыва рабочих растворов не определялся);

— наличие выше продуктивного горизонта одного или нескольких водоносных горизонтов исключают применение бентогильз для гидроизоляции заколонного пространства технологических скважин при добыче урана методом СПВ.

#### Выводы

1. Высокоэффективная отработка рудных залежей возможна только при вскритии их скважинами, гарантированно работающими в течение всего срока отработки, с включением в их конструкцию высокоэффективных фильтров, установленных в заданных интервалах, и освоеных с применением способов, позволяющих полностью удалить кольматант из прифильтровой зоны, и с применением материалов для гидроизоляции заколонного пространства, которые не изменяют свои свойства при контакте с рабочими растворами кислот.

2. Глинистый раствор, приготовленный на основе бентонитовых глин, должен быть максимально удален из прифильтровой зоны до ввода технологических скважин в эксплуатацию известными способами, в том числе предлагаемыми в настоящей статье.

3. Применение бентогильз для гидроизоляции заколонного пространства технологических скважин оправдано только в определенных геологических условиях, изложенных в настоящей работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Геотехнология урана (российский опыт): монография / Под. ред И.Н. Солодова, Е.Н. Камнева. М.:, «КДУ», «Университетская книга», 2017. 576 с.
- Грикевич Э.А. Гидравлика водозаборных скважин. М., Недра, 1986. 231 с.
- Гринбаум И.И. Расходометрия гидрогеологических и инженерно-гидрогеологических скважин. М., Недра, 1975. 271 с.
  - REFERENCES
- Uranium Geotechnology (Russian experience): monograph. Under. Ed I.N. Solodova, E.N. Kamneva. M.: KDU, University Book, 2017, 576 p.
- Grikevich E.A. *Hydraulic water intake wells*. M., Nedra Publ., 1986, 231 p.
- 3. Greenbaum I.I. *Expendutermsofion of hydrogeological and hydrogeological wells.* M., Nedra Publ, 1975, 271 p.

- Справочник по геотехнологии урана / В.И. Белецкий, Л.К. Богатков, Н.И. Волков и др.; Под ред. Д.И. Скороварова. М.: Энергоатомиздат, 1997. 672 с.: ил.
- Сушко С.М., Асанов Н.С., Карманов Т.Д., Калиев Б.З. Метод гидроизоляции затрубного пространства при сооружении геотехнологических скважин для подземного выщелачивания подземного горизонта. International Journal Of Experimental Education. 2013. 11. С. 118–122.
- Reference on uranium geotechnology. V.I. Beletsky, L.K. Bogatkov, N.I. Volkov, etc.; Under Ed. D.I. Skorovarova. M.: Energoatomizdat, 1997, 672 p.: il.
- Sushko S.M., Asanov N.S., Karmanov T.D., Kaliyev B.S. The method of waterproofing of the groundwater space in the construction of geotechnological wells for underground leaching of the underground horizon. *International Journal of Experimental Education*, 2013, no. 11, pp. 118–122.

## ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

2019, № 6

# ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY

УДК 551.311.21 + 624.131.66

## К ВОПРОСУ О ПРИЧИНАХ И МЕХАНИЗМАХ РАЗРУШЕНИЯ БЕРЕГОВ КРАСНОЙ РЕКИ В ХАНОЕ

Т.Х. ДИНЬ<sup>1</sup>, О.Е. ВЯЗКОВА<sup>1</sup>, И.К. ФОМЕНКО<sup>1</sup>, С.В. КОЗЛОВСКИЙ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФБГОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе» 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия, e-mail: wjask@vandex.ru

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук (ИГЭ РАН) 13, Уланский переулок, строение 2, а/я 145, г. Москва 101000, Россия e-mail: direct@geoenv.ru

Прибрежные территории Красной реки, проходящий через город Ханой (столицу Вьетнама), осваиваются очень динамично разными видами строительства, добычи песка из русла реки и её берегов, откачка воды, создание прудов и сельского хозяйства. Но эта деятельность возможна только в районах, защищённых дамбой от ежегодных наводнений. Однако в последние годы стала быстро нарастать интенсивность боковой эрозии реки и связанных с ней суффозионных и оползневых процессов как в паводковые, так и в засушливые сезоны. Деформации захватывают естественные речные берега и тело дамбы. Авторами выполнен анализ причин и выявлены механизмы протекания этих процессов с учётом изменчивых климатических, тектонических, гидрологических, геологических и гидрогеологических условий, осложнённых экономической деятельностью в прибрежной зоне. В статье приведены расчёты устойчивости берегов в различных условиях (в период наводнения и после него), которые подтверждают теоретические представления о механизме процесса и совпадают с наблюдениями. Наибольший вклад в разрушение берегов вносит изменчивость угла внутреннего трения песков, входящих в разрез прибрежной территории.

Ключевые слова: боковая эрозия; суффозия; оползни; фильтрация; паводки; устойчивость берегов.

https://doi.org/10.32454/0016-7762-2019-6-88-93

## CAUSES AND MECHANISMS OF THE DESTRUCTION OF THE RED RIVER **BANKS IN HANOI**

### THE H. DINH<sup>1</sup>, OLGA E. VYAZKOVA<sup>1</sup>, IGOR K. FOMENKO<sup>1</sup>, SERGEY V. KOZLOVSKIY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sergo Ordzhonikidze Russian State University of Geological Prospecting 23, Miklukho-Maklay str., Moscow 117997, Russia e-mail: wjask@yandex.ru

<sup>2</sup>Sergeev Institute of Environmental Geoscience Russian Academy of Sciences (IEG RAS) 13, Ulansky pereulok, Moscow 101000, Russia

The coastal territories of the Red River, passing through the city of Hanoi (the capital of Vietnam), are developed very dynamically by different types of construction, sand extraction from the river bed and its banks, pumping of water, creation of ponds and agriculture. But these activities are only possible in areas protected against annual floods with a dam. However, in recent years, the intensity of lateral erosion of the river and associated suffocation and landslide processes has become rapidly increasing in both flood and dry seasons. Deformations capture natural river banks and the dam body. The authors analysed the causes and identified mechanisms of these processes taking into account variable climatic, tectonic, hydrological, geological and hydrogeological conditions complicated by economic activities in the coastal zone. The article provides calculations of the stability of banks in different conditions (during and after the flood), which confirms theoretical ideas about the mechanism of the process and coincide with the observations. The greatest contribution to the banks destruction is the variability of the internal friction angle of the sands entering the section of the coastal territory.

Keywords: lateral erosion; suffusion; soil slips; filtration; river floods; banks sustainability.

\*Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.





Территории Ханоя вблизи Красной реки являются особо ценными участками в различных аспектах градостроительства: функционально-планировочном, рекреационном и ландшафтно-композиционном. В современных условиях экономики Вьетнама преобразования приречных территорий приобретают большое значение как для самого города Ханоя, так и для Вьетнама в целом [9].

Речная эрозия является опасным геологическим процессом, который имеет разнообразные и сложные проявления и последствия [5]. На территории Ханоя этот процесс создает потенциальную опасность для жителей прибрежных территорий [1]. Поэтому выявление причин эрозии является важным практическим вопросом для устойчивого развития этих районов города.

Проанализируем основные компоненты инженерно-геологических условий, влияющие на формирование парагенезиса процессов в береговой зоне системы Красной реки в черте Ханоя. К ним относятся: климатический фактор, динамика русел системы Красной реки и её притоков, режим речного потока, геологическое строение береговой зоны, антропогенные факторы (техногенное воздействие).



Рис. 1. Схема расположения Красной реки в черте Ханоя [12] *1* – дамба; *2* – границы между регионами; *3* – реки

### Влияние климатического фактора на разрушение берегов Красной реки

Характерной чертой тропического муссонного климата является наличие двух сезонов с очень разным количеством атмосферных осадков. В сезон дождей в месяц выпадает до 200—300 мм, а в засушливый сезон для месяца нормой осадков является 12—70 мм, что меньше в 4—15 раз.

На рис. 1 показано, что русло Красной реки в черте Ханоя сильно меандрирует и имеет ширину в некоторых местах около 4 км. В сухой сезон ширина русла реки уменьшается примерно до 500 м и русло часто дробится на небольшие рукава, разделённые отмелями. Сезон дождей обычно длится с июня по октябрь и даёт 70—80% годового стока. Большие наводнения обычно случаются в июле и августе, благодаря участию притоков Красной реки (реки Да, Ло и Дуонг). В последние годы гидрологический режим стал усложняться, а русло реки часто меняет своё положение [13].

Эрозия берегов реки имеет разную природу в течение года [4, 16]. В период дождей это, в первую очередь, собственно эрозия, связанная с гидродинамическим воздействием от поверхностных вод рек системы Красной реки. Амплитуда колебания

> уровня воды в Красной реке и реке Дуонг достигает 12 м [11]. Во время паводка расходы реки Красной достигают в среднем около 30—35 тыс. м<sup>3</sup>/с (с максимумом 48 тыс. м<sup>3</sup>/с). Продолжительность пиковых паводков обычно составляет 15-20 дней. На пике паводка уровень реки поднимается до 15-20 м, скорость течения в 10-15 раз больше, чем в межень [15]. Вода в реке мутная, содержащая большое количество взвешенных материалов. Твёрдый сток реки достигает 9,6 кг/м<sup>3</sup> воды. В пределах территории Ханоя русла рек извилистые, направление потока сильно изменяется, поэтому силовое воздействие потоков воды в реке Красной и реке Доунг становится мощным фактором развития боковой эрозии [11] и связанного с ней разрушения берегов за счёт оползневого процесса.

> Активизация оползневых процессов за счёт подъёма уровня воды в Красной реке проявляется различными способами, вызывая изменение напряженного состояния массива и физико-механических свойств грунтов, а также за счёт развития фильтра-



Рис. 2. Оценка устойчивости откоса берега реки при изменении уровня паводковых вод. *а)* Коэффициент устойчивости после быстрого спада воды; *б)* Коэффициент устойчивости при пиках наводнения

ционных деформаций, связанных с увеличением порового давления в грунтах и гидродинамического воздействия потока подземных вод [6].

Выполненное моделирование устойчивости берегов при разном положении уровня воды в реке в зависимости от сезона (рис. 2, *a* и 2, *б*) показало, что за счёт быстрой сработки уровня паводковых вод коэффициент устойчивости ( $K_y$ ) берегового склона может упасть более чем в два раза (с  $K_y = 1,528$  на момент наибольшего подъёма уровня воды в реке, до  $K_y = 0,718$  на момент его максимального падения).

В сухой сезон интенсивность и скорость эрозии берегов реки снижаются, изменяется причина по-

тери устойчивости. Разрушение берегов проявляется как результат фильтрации (разгрузки) подземных вод и связанной с этим процессом суффозии грунтов, слагающих берег [4, 13, 15].

#### Влияние динамики русел системы Красной реки и её притоков на разрушение берегов Красной реки

Боковая эрозия происходит на всем протяжении русла Красной реки в черте Ханоя, но есть разница в интенсивности процесса на правом и левом берегах [2]. Так из 21 зоны эрозии 15 расположено на правом берегу и 6 — на левом [13].



Рис. 3. Инженерно-геологический разрез на ПК 61 км+200



Анализ схемы неотектоники (современных тектонических движений) позволяет предположить, что в настоящее время система русел реки Красная продолжает общую тенденцию передвижения на юг, при этом речная эрозия на правом берегу будет развиваться интенсивнее, чем на левом.

#### Влияние режима речного потока на размыв берега

Красная река в черте Ханоя принимает 4 крупных притока (Тао, Да, Ло, Дуонг). В местах слияния рек создаются турбулентные потоки (рис. 1) [12]. Когда эти потоки приближаются к берегам, они часто вызывают эрозию, приводящую к оползням и быстрому обрушению берегов. Локация и интенсивность разрушения берегов при этом зависят от скоростей притоков, впадающих в главную реку, поэтому эрозия и обрушение берегов в этих районах часто незакономерны.

В начале сезона дождей в 2011 г. боковая эрозия произошла в месте слияния трёх рек (Красной, Тао и Да), смыв 7000 м земли на правом берегу этого района и 6000 м — на левом [15].

# Влияние геологического строения береговой зоны на разрушение берегов Красной реки

Геологическое строение территории, относящейся к дельте Красной реки, разнообразно и различается от участка к участку, но есть и общие закономерности [8]. На рис. 3 показан разрез, характерный для правобережья Красной реки. На нём видно, что чередование пород в целом таково, что вверх по разрезу фильтрационные свойства грунтов ухудшаются (коэффициент фильтрации падает). Так на глубинах от 0 до 11,5 м залегают глина или суглинок, далее (от 11,5 до 33,0 м) — песок или супесь и глубже 33,0 м — гравий.

Берега реки на всём протяжении сложены супесью и песком, которые легко размываются водой [10]. Физические свойства грунтов показаны в таблице.

Таблица

Показатели свойства грунтов	Символ	Единица	Слой 2	Слой 3	Слой 4	Слой 5	Слой 6
Плотность грунта	ρ	г/см <sup>3</sup>	1,79	1,85	1,90	1,95	2,20
Удельное сцепление	с	кПа	16,2	28,7	17,8	_	_
Угол внутреннего трения	φ	град	10°32′	12°43′	16°04′	27°29′	34°29′
Коэффициент фильтрации	K	м/сут	0,0009	0,0002	19	86,4	1037

Физико-механические свойства грунтов, слагающих берега Красной реки



Рис. 4. Вероятностный анализ устойчивости берега Красной реки

Физико-механические свойства грунтов характеризуются сильной изменчивостью [2], с целью оценки влияния которой на устойчивость береговых склонов Красной реки был выполнен вероятностный анализ устойчивости [6] (рис. 4).

Анализ результатов расчёта показал, что несмотря на общую устойчивость (средний  $K_y=1,17$ ), вероятность обрушения берега за счет изменчивости прочностных свойств грунтов, составляет 14%. При этом, наибольшее влияние на устойчивость оказывает изменчивость угла внутреннего трения песков, слагающих слой 5 (рис. 5).

# Влияние антропогенных факторов на разрушение берегов Красной реки

В последние годы следствием социально-экономического развития города явилось изменение характера землепользования вдоль Красной реки, что сильно повлияло на естественное развитие реки. Увеличение активности строительства различных сооружений на берегах реки также является фактором изменения режима потока Красной реки. Кроме того, такие виды деятельности, как вырубка лесов, быстро увеличивающийся спрос на воду, также вызывают изменение режима речного стока, в том числе и твердого. Эти изменения влияют на морфологию русла и берега реки.

В настоящее время незапланированная добыча песка в Ханое активизирует эрозию русла Красной реки [14]. Согласно отчёту Ханойского Департамента природных ресурсов и Окружающей среды, объём песка и гравия, добываемых на Красной реке в районе Ханоя в 2015—2018 гг., оценивается в среднем в 28 млн. м<sup>3</sup>/год. Это увеличило скорость потока в сезон паводков. С другой стороны, разработка песка также изменяет естественный профиль русла реки, особенно направление оси реки, создавая аномалии потока, вызывая быструю и нерегулируемую эрозию берега. Вследствие быстрой



Рис. 5. Зависимость К<sub>у</sub> берега от угла внутреннего трения песков, слагающих слой 5

урбанизации растёт спрос на земельные участки в прибрежных районах, на которых строятся крупные промышленные парки, паромы, склады и пр. Земляные работы в ходе строительства также усиливают процесс эрозии.

#### Заключение

В результате анализа событий в Ханое нам удалось выявить, что на ускорение процесса эрозии берегов реки более всего влияют сезонные климатические изменения, морфологические характеристики русла реки, гидрологический режим, геологическое строение и хозяйственная деятельность человека. Для того, чтобы ограничить и минимизировать ущерб из-за изменения русла реки и эрозии её берега, необходимо разрабатывать решения для регулирования потока реки.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Бабич Д.Б., Иванов В.В., Коротаев В.Н. Размывы речных берегов как негативные проявления русловых процессов // Геориск. 2016. № 3. С. 3848.
- 2. Гинко С.С. Катастрофы на берегах рек. Л. Гидрометеоиздат, 1997. 128 с.
- 3. Динь Т.Х., Вязкова О.Е., Фоменко И.К., Нгуен Т.К. Исследование причин и механизма процесса разрушения берегов Красной реки // Тезисы докладов 14-й международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле». Т. 3. МГРИ Москва, 2019. С. 93–95.
- Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л., Недра, 1977. 479 с.
- 5. Пендин В.В., Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерная геодинамика: учебник. 4-е изд. Доп. КДУ Москва, 2015. 472 с.
- Пендин В.В., Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности. ЛЕНАНД Москва, 2015. 320 с.
- Семикина С.С., Сотников П.В. Оценка оползневой опасности береговых склонов на территории города Барнаула // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328, № 7. С. 6775.
- Ф и Х.Т., С т р о к о в а Л.А. Слабые грунты на территории города Ханоя (Вьетнам) // Инженерная геология. 2014. № 1. С. 30-36.



- Х а Д.А. Направления преобразования и развития приречных территорий города Ханоя: Вьетнам: диссертация ... кандидата архитектуры: 05.23.22 / Ха Дуи Ань; [Место защиты: С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т]. Санкт-Петербург, 2013.182 с.: ил. РГБ ОД, 61 14-18/8.
- 10. Чалов Р. С. Почему размываются берега рек? // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6, № 2. С. 99– 106.
- 11. Чан М. Л. Теоретические и методологические основы организации мониторинга литотехнической системы «городская агломерация». Дис. д-ра геол.-мин. наук. М., 1998. 483 с.
- Bản đồ danh giới thành phố Hà Nội. Năm 2012. Viện địa chất Hà Nội (на вьетнамском языке).

- Báo cáo thống kê về tình hình xói mòn sông Hồng trong giai đoạn 2005–2015. Viện nghiên cứu – khoa học công trình thủy (на вьетнамском языке).
- 14. Nguyễn Hữu Nam, Trần Văn Tư, Hà Minh Đức. Tại biến địa chất ở bờ sông Hồng và biện pháp bảo vệ bờ. Tạp trí khoa học về trái đất năm 2013. số 4. trạng 44–56 (на вьетнамском языке).
- Phạm Tích Xuân. Tại biến sạt lở bờ sông khu vực hợp lưu các sông Thao – Đà – Lồ. Tạp trí khoa học về trái đất năm 2012. Số 3. trang 18–26 (на вьетнамском языке).
- Taukenov. T., Dzhanaleeva. K., Yerzhanova. Z. Methods of improving the efficiency of monitoring of channel deformations of mountain rivers near built-in settlements: on the example of the buktyrma river. Geodesy and cartography, 2018 volume 44 issue 1: 28–35.

#### REFERENCES

- 1. Babich D.B., Ivanov V.V., Korotaev V.N. Razmyvy rechnyh beregov kak negativnye projavlenija ruslovyh processov. Riverside erosion as a negative result of riverbed's processes/ *Georisk* [*Georisk*], 2016, no 3, pp. 38–48. (In Russian).
- Ginko S.S. Katastrofy na beregah rek. [Riverside calamities] L. Gidrometeoizdat Publ, 1997. 128 p. (In Russian).
- Din' T.H., Vjazkova O.E., Fomenko I.K., Nguen T.K. Issledovanie prichin i mehanizma processa razrushenija beregov Krasnoj reki [ Reasons and mechanisms of Red riverside destruction ]. Tezisy dokladov 14-j mezhdunarodnoj nauchnoprakticheskoj konferencii «Novye idei v naukah o Zemle». [Theses of reports of XV International Scientific and Practical Conference New Ideas in Earth Sciences], V. 3, MGRI Moskva, 2019, pp. 93–95. (In Russian).
- Lomtadze V.D. Inzhenernaja geologija. Inzhenernaja geodinamika. [Engineering geology. Engineering geodynamics]. L., Nedra Publ, 1977, 479 p. (In Russian).
- Pendin V.V., Bondarik G.K., Jarg L.A. Inzhenernaja geodinamika: uchebnik. [Engineering geodynamics: a textbook ] 4-e izd. Dop. KDU Moskva, 2015, 472 p. (In Russian).
- Pendin V.V., Fomenko I.K. Metodologija ocenki i prognoza opolznevoj opasnosti. [Assessment and forecast of a slide hazard ]. LENAND Moskva Publ, 2015, 320 p. (In Russian).
- Semikina S.S., Sotnikov P.V. Ocenka opolznevoj opasnosti beregovyh sklonov na territorii goroda Barnaula [Assessment of the slide hazard of the Barnaul's riverside ], *Izvestija Tomskogo* politehnicheskogo universiteta [Izvestija TPU]. Proceedings of Tomsk Polytechnic University [TPU news]. Inzhiniring georesursov, 2017, V. 328, no 7, pp. 67–75. (In Russian).
- Fi H.T., Strokova L.A. Slabye grunty na territorii goroda Hanoja (V'etnam) Hanoi territory's weak soil (Vietnam). *Inzhenernaja* geologija. [Engineering geology], 2014, no 1, pp. 30–36. (In Russian).

- Ha D.A. Napravlenija preobrazovanija i razvitija prirechnyh territorij goroda Hanoja: V'etnam [Transformation and development of Hanoi riverside areas ]: dissertacija ... kandidata arhitektury : 05.23.22. Ha Dui An'; [Mesto zashhity: S.-Peterb. gos. arhitektur. stroit. un-t]. Sankt-Peterburg, 2013, 182 p.: il. RGB OD, 61 14-18/8. (In Russian).
- Chalov R.S. Pochemu razmyvajutsja berega rek? Why do riversides erode?? Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal. [Soros educational journal] 2000, V. 6, no 2, pp. 99–106. (In Russian).
- 11. Chan M.L. Teoreticheskie i metodologicheskie osnovy organizacii monitoringa litotehnicheskoy sistemy «gorodskaya aglomeracia». Diss. dokt. geol.-min. nauk [Theoretical and methodological bases of the organization of monitoring of lithotechnical system «urban agglomeration». Dr. geol. and mineral. sci. diss.]. Moscow, 1998, 483 p. (In Russian).
- Bản đồ danh giới thành phố Hà Nội. Năm 2012. Viện địa chất Hà Nội (Vietnamese).
- Báo cáo thống kê về tình hình xói mòn sông Hồng trong giai đoạn 2005–2015. Viện nghiên cứu – khoa học công trình thủy (Vietnamese).
- 14. Nguyễn Hữu Nam, Trần Văn Tư, Hà Minh Đức. Tai biến địa chất ở bờ sông Hồng và biện pháp bảo vệ bờ. Tạp trí khoa học về trái đất năm 2013. số 4. trang 44–56 (Vietnamese).
- Phạm Tích Xuân. Tai biến sạt lở bờ sông khu vực hợp lưu các sông Thao – Đà – Lồ. Tạp trí khoa học về trái đất năm 2012. Số 3. trang 18–26 (Vietnamese).
- 16. Taukenov. T., Dzhanaleeva. K., Yerzhanova. Z. Methods of improving the efficiency of monitoring of channel deformations of mountain rivers near built-in settlements: on the example of the buktyrma river. Geodesy and cartography, 2018 volume 44 issue 1: 28–35.





Ассоциация по развитию международных исследований и проектов в области энергетики «Глобальная энергия»

## Продолжается прием заявок на премию «Глобальная энергия»

Ассоциация «Глобальная энергия» продолжает принимать заявки на соискание премии в 2020 году. Прием предложений по кандидатам продлится до 20 марта 2020 года. Самовыдвижение кандидатов не допускается, номинировать на премию могут только номинирующие лица. Ознакомиться с правилами номинирования, вступить в пул номинирующих лиц и подать заявку можно на официальном сайте организации.

Лауреатами премии «Глобальная энергия» могут стать ученые из любой страны мира, авторы выдающихся научных исследований и разработок, чьи открытия и технологические новации помогают решать самые острые энергетические проблемы. Начиная с 2019 года премия «Глобальная энергия» вручается в трех номинациях: «традиционная энергетика», «нетрадиционная энергетика» и «новые способы применения энергии».

Номинационный процесс премии от выдвижения кандидатов до награждения лауреатов предельно открыт и прозрачен. Самовыдвижение на премию невозможно. Право выдвигать кандидатов на получение награды имеют номинирующие лица, среди которых лауреаты премии «Глобальная энергия» прошлых лет, лауреаты Нобелевской премии, а также премий Kyoto, Max Planck, Вульфа, Бальцана, шейха Зайеда, Energy Globe, Goldman Environment, UNEP Sasakawa Prize, члены Российской академии Наук и академий наук иностранных государств, ученые или организации, приглашенные Ассоциацией для вступления в состав номинационного пула. Кроме того, эксперты энергетического профиля могут отправить заявку на вступление в пул номинирующих лиц. После оценки и утверждения их кандидатуры со стороны ассоциации, они наделяются правом выдвинуть своего кандидата. Для вступления в пул номинирующих лиц необходимо заполнить специальную форму на сайте «Глобальной энергии».

После определения допущенных до конкурса работ ассоциация проводит их независимую экспертизу. При этом каждая работа оценивается тремя независимыми международными экспертами. Работа экспертов осуществляется по международным стандартам. По итогам экспертизы баллы суммируются и определяется общий рейтинг всех номинационных представлений. Далее формируется шорт-лист, который обнародуется до официального объявления имен лауреатов премии текущего года. Финальное решение по определению лауреатов принимает Международный комитет по присуждению премии «Глобальная энергия», в состав которого входят 20 ученых из 14 стран.

Объективный процесс выбора лауреатов премии отмечен на мировом уровне. Так, Международный конгресс выдающихся наград (ICDA) признал «Глобальную энергию» мега-премией за ее благородные цели и образцовый премиальный конкурс: прозрачный процесс номинирования, выбора и присуждения награды, независимую экспертизу и беспристрастное жюри. Также «Глобальная энергия» отмечена Международной обсерваторией IREG как одна из ТОП-99 самых престижных и значимых международных наград. С 2003 года лауреатами премии стали 39 ученых из 13 стран: Австралии, Австрии, Великобритании, Дании, Исландии, Канады, России, США, Украины, Франции, Швейцарии, Швеции и Японии.

## Дополнительная информация:

press@ge-prize.org, +7 495 739 54 35