

ISSN 2686-9993 (print)
ISSN 2686-7931 (online)
12+

НАУКИ О ЗЕМЛЕ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

Том
Vol. 43 № 4 2020

EARTH SCIENCES
AND SUBSOIL USE

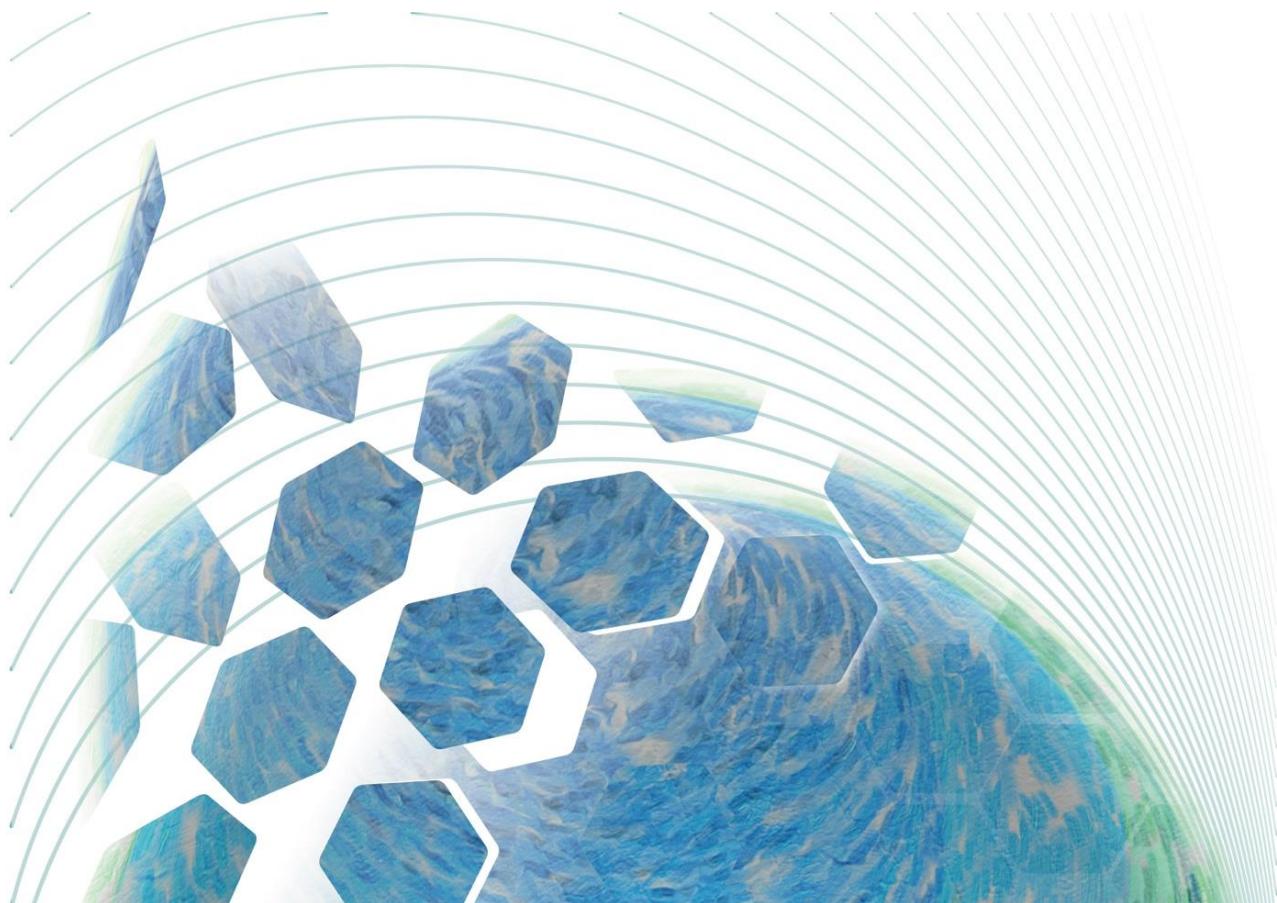
ISSN 2686-9993 (print)
ISSN 2686-7931 (online)

НАУКИ О ЗЕМЛЕ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

Том 43 № 4 2020
Vol. 43 № 4 2020

EARTH SCIENCES AND SUBSOIL USE

NAUKI O ZEMLE
I NEDROPOL'ZOVANIE



Редакционный совет

Кузьмин М.И., академик РАН, Институт геохимии СО РАН (г. Иркутск, Россия)
Гладкоуб Д.П., член-корр. РАН, Институт земной коры СО РАН (г. Иркутск, Россия)
Скляров Е.В., член-корр. РАН, Институт земной коры СО РАН (г. Иркутск, Россия)
Гордиенко И.В., член-корр. РАН, Геологический институт СО РАН (г. Улан-Удэ, Россия)
Корольков А.Т., д-р геол.-минерал. наук, проф., Иркутский государственный университет (г. Иркутск, Россия)
Макаров В.А., д-р геол.-минерал. наук, проф., Сибирский федеральный университет (г. Красноярск, Россия)
Очир Гэрэл, д-р геол.-минерал. наук, проф., Монгольский университет науки и технологии (г. Улан-Батор, Монголия)
Тальгамер Б.Л., д-р техн. наук, проф., Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)
Ши Гуаньхай, проф., Геммологический институт Китайского геологического университета (г. Пекин, Китай)
Чжао Цзюньмэн, проф., Институт изучения Тибетского плато Китайской академии наук (г. Пекин, Китай)
Чжан Юнчжань, проф., Нанкинский университет (г. Нанкин, Китай)
Шигин А.О., д-р техн. наук, доцент, Сибирский федеральный университет (г. Красноярск, Россия)
Семинский К.Ж., д-р геол.-минерал. наук, Институт земной коры СО РАН (г. Иркутск, Россия)
Корняков М.В., д-р техн. наук, доцент, ректор, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)
Тимофеева С.С., д-р техн. наук, проф., Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)
Зелинская Е.В., д-р техн. наук, проф., Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)
Морин А.С., д-р техн. наук, проф., Сибирский федеральный университет (г. Красноярск, Россия)

Председатель редакционного совета:

Семинский Ж.В., д-р геол.-минерал. наук, проф., Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)

Редакционная коллегия

Главный редактор:

Лобацкая Р.М., д-р геол.-минерал. наук, проф., зав. кафедрой ювелирного дизайна и технологий, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)

Заместители главного редактора:

Аузина Л.И., канд. геол.-минерал. наук, доцент, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)
Красноштанов С.Ю., канд. техн. наук, доцент, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)

Ответственный секретарь:

Храмовских В.А., канд. техн. наук, доцент, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)

Журнал «Науки о Земле и недропользование» («Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых») **входит в действующий Перечень изданий ВАК для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук**, включен в Научную электронную библиотеку (eLIBRARY.RU) для создания российского индекса научного цитирования, рассыпается в Российскую книжную палату, ВИНИТИ РАН. Журнал включен в научную электронную библиотеку CyberLeninka, в базы данных открытого доступа DOAJ, OAJL, в международный каталог периодических изданий Ulrich's Periodicals Directory, в базу данных EBSCO. Журнал распространяется по подписке в каталоге агентства ЗАО ИД «Экономическая газета» «Объединенный каталог Прессы России. Газеты и журналы», подписной индекс – 41538 (ОК+ЭК) (адрес агентства ЗАО ИД «Экономическая газета»: 8 (499) 1520989; izdatcat@ideg.ru). Статьи, опубликованные в журнале, реферируются и рецензируются. В журнал принимаются статьи по научному направлению «Науки о Земле».

Журнал создан в 2004 г. на основе межвузовского сборника «Геология, поиски и разведка месторождений рудных полезных ископаемых», который издавался с 1973 г. В 2004–2017 гг. журнал выходил под названием «Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений», в 2017–2019 гг. – «Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых». В 2019 г. журнал переименован в «Науки о Земле и недропользование».

Периодичность выхода – 4 раза в год

Учредитель:

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации журнала:
ПИ № ФС77-76110 от 24.06.2019 г.

Адрес редакции, учредителя и издателя:
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

© ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», 2020

Editorial Council

Kuzmin M.I., Academician of the Russian Academy of Sciences, Institute of Geochemistry, SB RAS (Irkutsk, Russia)
Gladkochub D.P., Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Institute of the Earth's Crust, SB RAS (Irkutsk, Russia)
Sklyarov E.V., Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Institute of the Earth's Crust, SB RAS (Irkutsk, Russia)
Gordienko I.V., Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Geological Institute, SB RAS (Ulan-Ude, Russia)
Korolkov A.T., Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Professor, Irkutsk State University (Irkutsk, Russia)
Makarov V.A., Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Professor, Siberian Federal University (Krasnoyarsk, Russia)
Ochir Gerel, Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Professor, Mongolian University of Science and Technology (Ulan Bator, Mongolia)
Talgamer B.L., Dr. Sci. (Eng.), Professor, Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russia)
Shi Guanghai, Professor, School of Gemmology, Institute of China University of Geosciences (Beijing, China)
Zhao Junmeng, Professor, Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences (Beijing, China)
Zhang Yongzhan, Professor, Nanjing University (Nanjing, China)
Shigin A.O., Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Siberian Federal University (Krasnoyarsk, Russia)
Seminsky K.Zh., Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Institute of the Earth's Crust, SB RAS (Irkutsk, Russia)
Konyakov M.V., Dr. Sci. (Eng.), Rector, Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russia)
Timofeeva S.S., Dr. Sci. (Eng.), Professor, Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russia)
Zelinskaya E.V., Dr. Sci. (Eng.), Professor, Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russia)
Morin A.S., Dr. Sci. (Eng.), Professor, Siberian Federal University (Krasnoyarsk, Russia)

Chairman of the Editorial Council
Seminsky Zh.V., Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Professor, Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russia)

Editorial Board

Editor-in-Chief
Lobatskaya R.M., Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Professor, Head of the Jewelry Design & Technology Department, Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russia)

Deputy Editors-in-Chief
Auzina L.I., Cand. Sci. (Geol. & Mineral.), Associate Professor, Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russia)
Krasnoshtanov S.Yu., Cand. Sci. (Eng.), Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russia)

Executive secretary
Khramovskikh V.A., Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russia)

The journal "Earth sciences and subsoil use" ("Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits") is on the current List of publications on the main results of candidate's and doctoral theses, the State Commission for Academic Degrees and Titles of the Russian Federation. It is included in the Scientific Electronic Library (eLIBRARY.RU) in order to create the Russian Science Citation Index. It is circulated to the Russian Book Chamber and the All-Russian Institute for Scientific and Technical Information of the Russian Academy of Sciences. The journal is included in CyberLeninka (the scientific electronic library), DOAJ, OAJI (open-access databases), Ulrich's Periodicals Directory, and EBSCO database. It is distributed through the catalog of JSC "Economic Newspaper" Publishing House "The united catalog. Russian press. Newspapers and journals", the subscription index 41538 (OK+EC) (address of JSC "Economic Newspaper" Publishing House: 8 (499) 1520989; izdatcat@ideg.ru). The articles published in the journal are abstracted and peer-reviewed. The journal accepts articles related to the "Earth sciences" direction.

The journal was founded in 2004 on the basis of the Interuniversity collected papers "Geology, prospecting and exploration of ore mineral deposits" that had been published since 1973. In 2004–2017, the journal was published under the title "Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits", and in 2017–2019, "Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits". Since 2019, the title of the journal is "Earth sciences and subsoil use".

Periodicity: 4 times a year

Founder:
Federal State Budget Educational
Institution of Higher Education
'Irkutsk National Research Technical University'

The journal is registered
by the Federal Service for Supervision
of Communications, Information Technology,
and Mass Media (Roskomnadzor)

Journal Registration Certificate
PI no. FS77-76110 of June 24, 2019

Editorial Office Address: Federal State Budget
Educational Institution of Higher Education
'Irkutsk National Research Technical University',
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia

© Federal State Budget Educational
Institution of Higher Education
'Irkutsk National Research
Technical University", 2020



СОДЕРЖАНИЕ

Содержание.....	456
Разведка и разработка месторождений полезных ископаемых	
Прокопьев С.А., Прокопьев Е.С., Кадесников И.В., Черимичкина Н.А. Актуальные способы отработки техногенных россыпных месторождений золота с технологией извлечения мелкого золота.....	458
Обогащение и переработка полезных ископаемых	
Шаяхметов А.И., Малышев В.Л., Моисеева Е.Ф., Пономарев А.И., Зейгман Ю.В. Исследование влияния растворения диоксида углерода в нефти на агрегацию асфальтенов в условиях месторождений Республики Башкортостан.....	467
Геоэкология	
Тимофеева С.С., Попова Н.А. Профессиональные риски на объектах нефтегазодобычи Иркутской области.....	476
Результаты полевых исследований	
Чжао Цзюньмэн. Вращение Таримского бассейна по часовой стрелке под влиянием движения Индийской плиты. Часть II.....	486
Гипотезы, сообщения, дискуссии	
Рапацкая Л.А., Снетков В.И. Особенности дистанционного обучения по дисциплинам направления «Науки о Земле» в техническом вузе.....	499
К сведению авторов.....	510



CONTENTS

Contents.....	457
---------------	-----

Exploration and Development of Mineral Deposits

Prokopiev S.A., Prokopiev E.S., Kadesnikov I.V., Cherimichkina N.A. Current methods of technogenic gold placer deposit mining with small size gold extraction technology.....	458
---	-----

Beneficiation and Processing of Minerals

Shayakhmetov A.I., Malyshev V.L., Moiseeva E.F., Ponomarev A.I., Zeigman Yu.V. Studying the effect of carbon dioxide oil solubility on asphaltene aggregation under conditions of the Bashkortostan Republic fields.....	467
--	-----

Geoecology

Timofeeva S.S., Popova N.A. Occupational hazards at the Irkutsk region oil and gas production facilities.....	476
---	-----

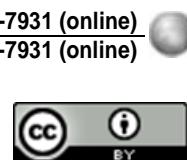
On-Site Research Results

Zhao Junmeng. Clockwise rotation of the Tarim basin driven by the Indian plate impact. Part II.....	486
---	-----

Hypotheses, Reports, Discussion

Rapatskaya L.A., Snetkov V.I. Features of distance learning by the disciplines in the Earth Sciences direction at a technical university.....	499
---	-----

Information for the Authors.....	510
----------------------------------	-----



Оригинальная статья / Original article

УДК 622.75/77

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-4-458-466>

Актуальные способы отработки техногенных россыпных месторождений золота с технологией извлечения мелкого золота

© С.А. Прокопьев^a, Е.С. Прокопьев^b, И.В. Кадесников^c, Н.А. Черимичкина^d^{a-d}Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия^{a,b}Иркутский научный центр СО РАН, г. Иркутск, Россия^{a-d}ООО ПК «Спирит», г. Иркутск, Россия

Резюме: Целью данного исследования являлось проведение промышленных испытаний технологии винтовой сепарации на техногенном труднообогатимом сырье. Объектом исследования стало россыпное месторождение золота Юрское в Республике Саха (Якутия). Для проведения опытной отработки эфельных отвалов месторождения с максимальным извлечением мелкого золота осуществлялся монтаж обогатительного комплекса ОКВ-100 производительностью 100 м³/ч по исходным пескам. Пески подавались с разных участков техногенного месторождения и имели разное содержание золота, гранулометрические характеристики, минералогический состав. В ходе исследования проводились эксперименты при работе на разном исходном питании, оборудование настраивалось под конкретное сырье в зависимости от производительности, соотношения «жидкое / твердое», выхода продуктов модуля извлечения мелкого золота. Производительность комплекса составляла от 90 до 150 м³/ч. Определялись выход и извлечение золотосодержащего концентратата, а также содержание в нем золота. В результате опытной промывки с применением технологии извлечения мелкого золота среднее доизвлечение золота из хвостов шлюзов составило 19,07 %, что является высоким показателем, если учитывать невысокие содержания золота в техногенных россыпях. Рассмотренная технология может применяться для отработки как техногенных, так и эксплуатируемых россыпных месторождений золота.

Ключевые слова: винтовая сепарация, золото, техногенные россыпи

Благодарности: Авторы выражают благодарность ПАО «Селигдар» и ООО «Артель Новая» за содействие в работе на техногенном россыпном месторождении золота.

Для цитирования: Прокопьев С.А., Прокопьев Е.С., Кадесников И.В., Черимичкина Н.А. Актуальные способы отработки техногенных россыпных месторождений золота с технологией извлечения мелкого золота. *Науки о Земле и недропользование*. 2020. Т. 43. № 4. С. 458-466. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-4-458-466>

Current methods of technogenic gold placer deposit mining with small size gold extraction technology

© Sergey A. Prokopiev^a, Evgeniy S. Prokopiev^b, Igor V. Kadesnikov^c, Natalia A. Cherimichkina^d^{a-d}Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia^{a,b}Irkutsk Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia^{a-d}LLC PC Spirit, Irkutsk, Russia

Abstract: The purpose of this article is to conduct industrial tests of spiral separation technology on technogenic refractory raw materials. The object of the study is the Yurskoye gold placer deposit in the Republic of Sakha (Yakutia). An OKV-100 beneficiation complex with the productive capacity of 100 m³/h by initial sands was set up in order to conduct pilot mining of the fine-grained tailings dumps of the Yurskoye deposit with the maximum extraction of small size gold. Sands supplied from the different sections of the technogenic deposit had different gold content, granulometric characteristics, and mineralogical composition. The study included experiments carried out at different initial feed; equipment was adjusted for specific raw material depending on productive capacity, liquid/solid ratio, product yield of the small size gold recovery module. The complex productivity was from 90 to 150 m³/h. The yield and extraction of gold-bearing concentrate, as well as its gold content were determined. The pilot washing with the use of small size gold recovery technology resulted in the average additional gold recovery from sluice tailings of 19.07 %, which is a high indicator, given the low content of gold in technogenic placers. The technology under consideration can be used for the development of both technogenic and operated gold placer deposits.

Keywords: spiral separation, gold, technogenic placer

Acknowledgements: The authors gratefully acknowledge the assistance of Seligdar PJSC и New Artel LLC for their assistance in the work at the technogenic gold placer.



For citation: Prokopiev SA, Prokopiev ES, Kadesnikov IV, Cherimichkina NA. Current methods of technogenic gold placer deposit mining with small size gold extraction technology. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2020;43(4):458–466. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-4-458-466>

Введение

За годы промышленной отработки россыпных месторождений золота в России разработаны различные технологии переработки золотосодержащих песков. В основе разработанных и применяемых технологий лежит использование силы тяжести, при которой тяжелые минералы, включая золото, отделяются от пустой породы за счет разницы их плотностей [1, 2].

В то время, когда основная масса добываемого золота была представлена купными классами (более 1–2 мм), применялась самая простая технология с использованием в качестве обогатительного оборудования промточных шлюзов. Принцип ее действия заключается в прохождении подготовленной пульпы по желобу, который застелен специальными ячеистыми ковриками и трафаретами. Проходящий по желобу материал распределается в турбулентном потоке на легкую и тяжелую фракции. Легкая фракция в виде минералов пустой породы смывается с желоба, а тяжелая фракция в виде золотосодержащего шлиха осаждается на ячеистых ковриках [3–5]. Основным недостатком этого способа является неполное извлечение золота, особенно мелкого. многими исследователями выявлено, что при использовании шлюзов золото крупностью от 0,5 до 0,2 мм теряется в хвостах наполовину, а золото мельче 0,2 мм уходит в хвосты практически полностью.

С учетом того, что на многих месторождениях основная масса золота была представлена мелкими классами (до 50 % составляло золото крупностью менее 0,25 мм), применение только шлюзовой технологии приводило к большим потерям. Таким образом, за годы

переработки россыпных месторождений накоплено множество золотосодержащих отвалов (техногенных месторождений), простирающихся от Урала до Дальнего Востока и районов Крайнего Севера, представляющих собой огромный резерв минерально-сырьевой базы россыпного золота, перспективного для повторной переработки [6–10].

При выборе технологии переработки для техногенных месторождений золота важно понимать, что каждое месторождение индивидуально и имеет свой вещественный состав. Это гранулометрические характеристики песков, содержание и распределение золота по классам крупности, морфологические характеристики золота, выход и состав тяжелой фракции (шлиха), содержание глинистой фракции. Все эти составляющие влияют на эффективность обогащения и выбор технологии переработки^{1–6} [11].

Объект исследования

Объектом данного исследования являлось россыпное месторождение золота Юрское в Республике Саха (Якутия). Месторождение расположено в долине одноименного ручья Юрский, правого притока реки Гонам. Оно находится в пределах Верхне-Тимптонского золотоносного района и относится к Гонамскому золотоносному узлу.

Отработка месторождения ведется с 1995 г. и продолжается до настоящего времени. За все время промывки переработано около 30 млн м³ песков, добыто порядка 20 т золота.

По данным геологического изучения, характерной особенностью месторождения является преобладание в россыпях золотин

¹ Дорошенко И.В., Башлыкова Т.В. Технологические свойства минералов: справочник для технологов. М.: Теплоэнергетик, 2007. 296 с.

² Справочник по обогащению руд / ред. О.С. Богданова. В 4 т. Т. 1. М.: Недра, 1974. 381 с.

³ Справочник по обогащению руд / ред. О.С. Богданова. В 4 т. Т. 2. М.: Недра, 1974. 382 с.

⁴ Справочник по обогащению руд / ред. О.С. Богданова. В 4 т. Т. 3. М.: Недра, 1974. 373 с.

⁵ Методические рекомендации Научного совета по методам минералогических исследований № 162 «Оптико-минералогический анализ шлиховых и дробленных проб». 22 с.

⁶ Леонов С.Б., Белькова О.Н. Исследования полезных ископаемых на обогащимость: учеб. пособие. М.: Интермет инжиниринг, 2001. 631 с.



мелких и весьма мелких классов крупности (от 40–50 % составляет золото крупностью менее 0,25 мм). Однако отработка песков месторождения проводилась только стандартным способом с использованием шлюзового оборудования, которое способно эффективно уловить золото крупностью до 0,5 мм⁷ [12, 13].

Методы исследования

С целью проведения опытной отработки эфельных отвалов месторождения Юрское с максимальным извлечением мелкого золота в ходе исследования была проведена работа по монтажу и эксплуатации обогатительного комплекса ОКВ-100 производительностью 100 м³/ч по исходным пескам (рис. 1).

Технологическая схема обогатительного комплекса ОКВ-100 заключалась в дезинтеграции и грохочении исходных песков в скруббер-бутаре, где надрешетный класс крупности более 20 мм являлся отвальным и в виде галечника направлялся в отвал. Подрешетный класс крупности менее 20 мм самотеком

поступал на шлюз мелкого наполнения для улавливания крупного золота (сполоск производился один раз в сутки через систему контейнерного съема). Хвосты шлюза мелкого наполнения объединялись в один хвостовой лоток и направлялись на модуль извлечения мелкого золота, где подвергались грохочению по классу 2 мм с выводом в отвал материала крупнее 2 мм и последующим обогащением класса менее 2 мм на винтовых сепараторах. При обогащении на винтовых сепараторах разделение материала, проходящего по винтовому желобу, происходило не только за счет разницы между плотностями пустой породы и минералов тяжелой фракции, но и за счет центробежных сил, которые улучшают процесс извлечения мелких фракций золота в концентрат. Доводка концентратов винтовых сепараторов производилась на концентрационных столах. Схема цепи аппаратов обогатительного комплекса ОКВ-100 представлена на рис. 2.



Рис. 1. Обогатительный комплекс ОКВ-100 на месторождении Юрское
Fig. 1. OKV-100 beneficication complex (Yurskoye deposit)

⁷ Лавров Н.П., Милентьев В.В. Практическое пособие по эксплуатации промывочных установок и шлихобогатительных фабрик. Магадан: Кордис, 2005. 206 с.

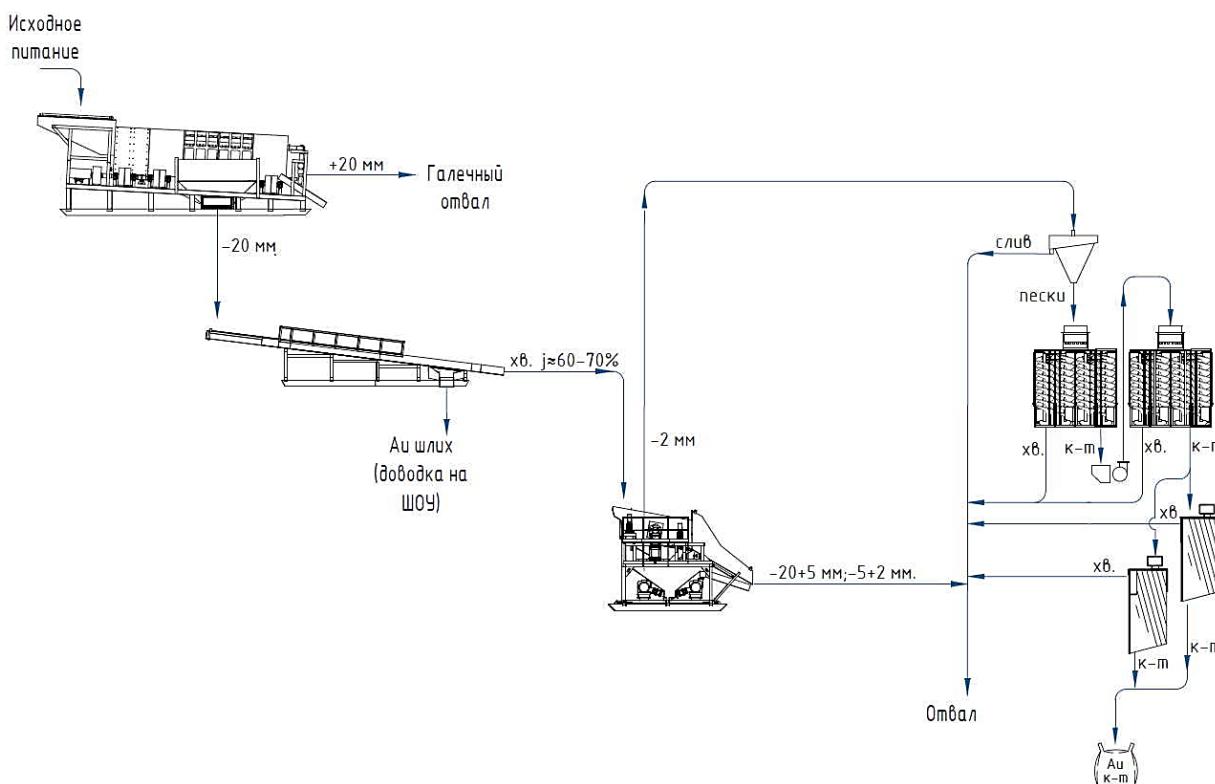


Рис. 2. Схема цепи аппаратов обогатительного комплекса ОКВ-100
Fig. 2. OKV-100 beneficiation complex equipment circuit

Результаты исследования и их обсуждение

Для определения эффективности технологии переработки было проведено генеральное опробование комплекса, а также гранулометрический анализ золотосодержащих продуктов. На рис. 3. представлена технологическая схема обогатительного комплекса ОКВ-100 с качественно-количественными и водно-шламовыми показателями на момент генерального опробования. Результаты генерального опробования ОКВ-100 представлены в табл. 1.

По результатам анализа гранулометрических характеристик золота шлюзов мелкого наполнения и винтовых сепараторов месторождения Юрское (табл. 2) видно, что основная масса золота (98,07 %) в концентрате шлюзов мелкого наполнения распределяется в классе менее 1 мм, в концентрате узла винтовых сепараторов (90,37 %) – в классе менее 0,5 мм. Распределение золота в классе крупности более 1 мм (1,93 %) свидетельствует о том, что основная масса золота представлена мелкими классами и необходима эффективная технология для его извлечения.

Гранулометрический анализ хвостов обогатительного комплекса ОКВ-100 на месторождении Юрское (табл. 3) показал, что основные потери золота (66,67 %) связаны с труднообогатимым классом крупности менее 40 мкм.

Период эксплуатации ОКВ-100 с момента запуска составил два месяца: с 18 июля по 18 сентября 2020 г. Пески подавались с разных участков техногенного месторождения и имели разное содержание золота, гранулометрические характеристики, минералогический состав. В процессе исследования производились эксперименты при работе на разном исходном питании, оборудование настраивалось под конкретное сырье в зависимости от производительности, соотношения «жидкое / твердое», выхода продуктов модуля извлечения мелкого золота. Производительность комплекса составляла от 90 до 150 м³/ч, съемка золота со шлюзов – от 70 до 500 г/сут., выход золотосодержащего концентрата на модуле извлечения мелкого золота – от 1000–1200 кг/сут. со средним содержанием 80 г/т. Концентрат накапливался в специально подготовленных бочках и перевозился в г. Алдан для гидрометаллургической переработки.

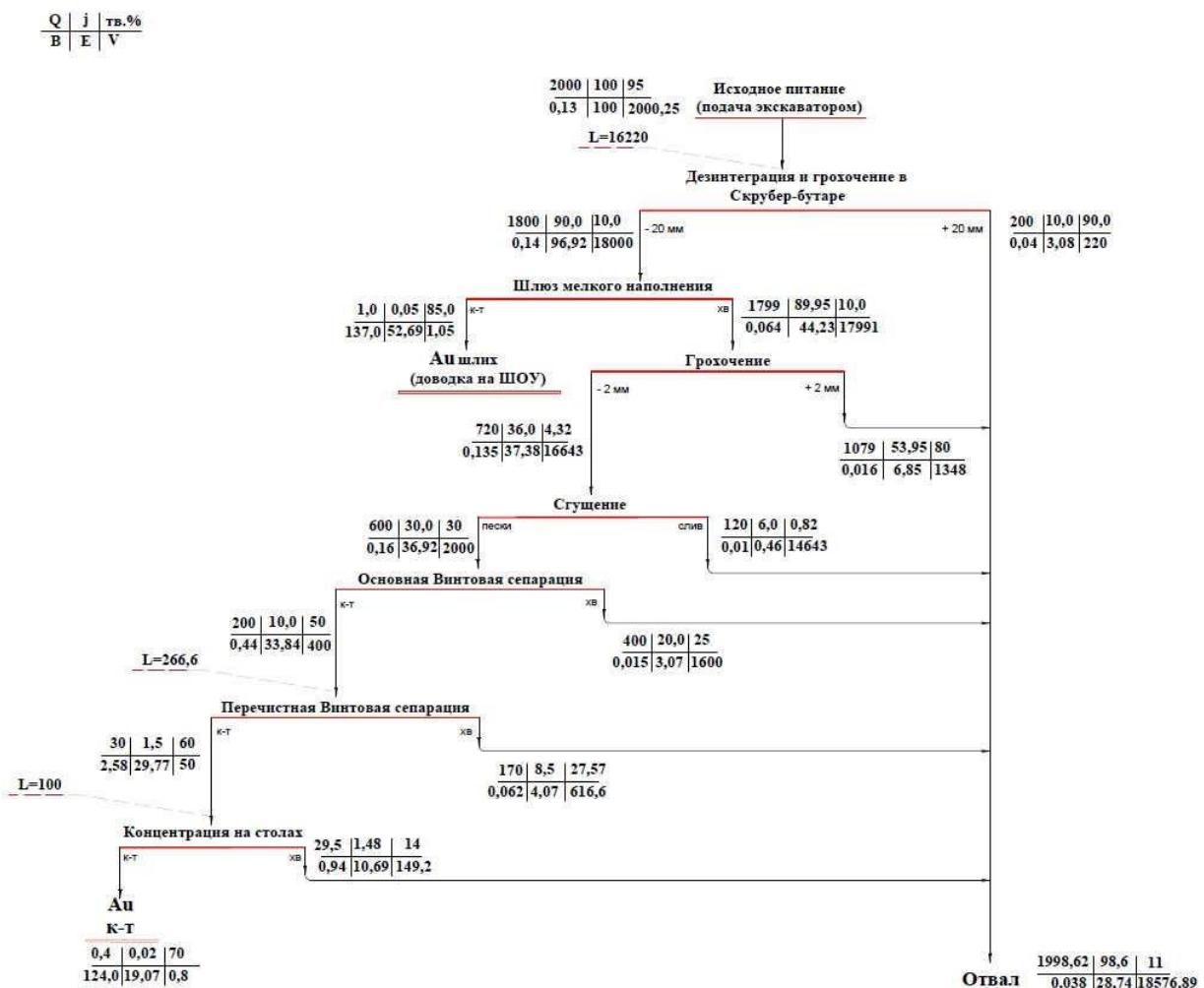


Рис. 3. Технологическая схема обогатительного комплекса ОКВ-100 с качественно-количественными и водно-шламовыми показателями на момент генерального опробования:

Q – производительность, м³/сут.; В – содержание, г/м³; j – выход, %; E – извлечение, %;
тв. % – твердое, %; V – объем пульпы, м³/сут.; L – дополнительная вода, м³/сут.

Fig. 3. Process flow diagram of the OKV-100 beneficition complex with qualitative-quantitative and water-sludge indicators at the time of general testing:

Q – productive capacity, m³/day; B – content, g/m³; j – yield, %; E – extraction, %;
тв. % – solid, %; V – pulp volume, m³/day; L – additional water, m³/day

Таблица 1. Результаты генерального опробования обогатительного комплекса ОКВ-100
Table 1. General testing results of the OKV-100 beneficition complex

Показатель	Значение
Производительность комплекса по исходным пескам	100 (2000 м ³ /сут.)
Содержание золота в исходных песках	0,13 г/м ³
Съемка золота со шлюзов мелкого наполнения	137 г/сут.
Выход золотосодержащего концентрат модуля винтовой сепарации	1,068 т/сут. (0,4 м ³ /сут.)
Содержание золота в концентрате модуля винтовой сепарации	124 г/м ³
Количество золота в концентрате модуля винтовой сепарации	49,66 г
Общее количество золота, извлеченного обогатительным комплексом ОКВ-100 за сутки	186,66 г
Содержание золота в хвостах обогатительного комплекса ОКВ-100	0,03 г/т
Сквозное извлечение золота в два продукта – съемка со шлюзов мелкого наполнения и концентрат винтовых сепараторов	71,76 %
Распределение золота по продуктам обогатительного комплекса ОКВ-100:	
– извлеченного шлюзом мелкого наполнения;	52,69 % (137 г)
– извлеченного на модуле винтовой сепарации	19,07 % (49,66 г)



Таблица 2. Гранулометрические характеристики золота шлюзов мелкого наполнения и винтовых сепараторов месторождения Юрское
Table 2. Granulometric characteristics of gold from shallow sluices and spiral separators of the Yurskoye deposit

Класс крупности, мм	Распределение золота в концентрате шлюза мелкого наполнения, %	Распределение золота в концентрате модуля винтовой сепарации, %
+2	0,48	–
-2+1	1,45	–
-1+0,5	27,44	9,57
-0,5+0,25	41,98	37,51
-0,25+0	28,65	52,92
Итого:	100	100

Таблица 3. Распределение самородного золота в хвостах обогатительного комплекса ОКВ-100
Table 3. Native gold distribution in OKV-100 beneficitation complex tailings

Класс крупности, мм	Масса, г	Распределение, %
-0,25+0,125	< 0,0001	–
-0,125+0,071	< 0,0001	–
-0,071+0,04	0,0001	33,33
-0,04+0	0,0002	66,67
Итого:	0,0003	100

Заключение

Результаты выполненной работы свидетельствуют о высоких возможностях винтовой сепарации при извлечении мелкого золота из россыпных месторождений. Показано, что эта технология может стать основной при массовой отработке техногенных месторождений.

Всего за время опытной отработки:

- переработано песков – 91 тыс. м³;
- получено химически чистого золота (золота квалификации «х.ч.») (сполоск шлюзов мелкого наполнения) – 9059 г;
- получено концентраты винтовой сепарации – 31 т;
- среднее содержание золота в концентрате винтовой сепарации – 80 г/т;
- получено химически чистого золота в концентрате винтовой сепарации – 2480 г;

– соотношение полученного химически чистого золота со шлюзов мелкого наполнения к золоту винтовой сепарации – 78,5 % / 21,49 %;

Суммарно на ОКВ-100 получено 11539 г химически чистого золота.

В результате опытной промывки с применением технологии извлечения мелкого золота среднее доизвлечение золота из хвостов шлюзов составило 19,07 %, что является высоким показателем, если учитывать невысокие содержания золота в техногенных россыпях. Данная технология может применяться для отработки как техногенных, так и эксплуатируемых россыпных месторождений золота. Полученный золотосодержащий концентрат возможно перерабатывать и гидрометаллургическим, и гравитационным методом.

Список литературы

1. Соломин К.В. Обогащение песков россыпных месторождений полезных ископаемых. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу, 1961. 399 с.
2. Берт Р.О. Технология гравитационного обогащения / пер. с англ. М.: Недра, 1974. 572 с.
3. Замятин О.В., Лопатин А.Г., Санникова Н.Г., Чугунов А.Д. Обогащение золотосодержащих песков и конгломератов. М.: Недра, 1975. 262 с.
4. Шило Н.А. Основы учения о россыпях. М.: Наука, 1985. 400 с.
5. Петровская Н.В. Самородное золото: общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса. М.: Наука, 1973. 347 с.
6. Litvintsev V.S. Rational development of noble metal placer mining waste in the east of Russia // Journal of Mining Science. 2015. Vol. 51. P. 118–123. <https://doi.org/10.1134/S1062739115010159>
7. Litvintsev V.S., Banshchikova T.S., Leonenko N.A., Alekseev V.S. Effective methods for gold recovery from mining wastes at placers // Journal of Mining Science. 2012. Vol. 48. P. 198–202. <https://doi.org/10.1134/S1062739148010224>



8. Mirzehhanov G.S., Mirzehhanova Z.G. Forward appraisal of potential gold content of dredge and sluice tailings dumps at placers in Russia's Far East // Journal of Mining Science. 2020. Vol. 56. P. 259–267. <https://doi.org/10.1134/S1062739120026733>

9. Parkhurst D.W. Gold recovery in placer mining // California Mining Journal. 1998. April. P. 11–14.

10. Cristovici M.A. Recovery of gold from ore tailing ponds // Canadian Mining and Metallurgical Bulletin. 1986. Vol. 79. P. 27–33.

11. Лодочников В.Н. Главнейшие породообразующие минералы. М.: Недра, 1974. 248 с.

12. Иванов В.Д., Прокопьев С.А. Винтовые аппараты для обогащения руд и россыпей в России. М.: Дакси, 2000. 239 с.

13. Соломин К.В., Федоров О.В. Обогащение золото- и платиносодержащих песков на винтовых сепараторах // Труды Иргиредмета. № 7. М.: Металлургиздат, 1958. С. 164–170.

References

1. Solomin KV. *Beneficiation of mineral placer deposit sands*. Moscow: Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatel'stvo literatury po gornomu delu; 1961. 399 p. (In Russ.)
2. Bert RO. *Gravity concentration technology*; 1974. 572 p. (Russ. ed.: *Tekhnologiya gravitatsionnogo obogashcheniya*. Moscow: Nedra; 1974. 572 p.).
3. Zamyatin OV, Lopatin AG, Sannikova NG, Chugunov AD. *Concentration of gold sands and conglomerates*. Moscow: Nedra; 1975. 262 p. (In Russ.)
4. Shilo NA. *Fundamentals of the theory of placers*. Moscow: Nauka; 1985. 400 p. (In Russ.)
5. Petrovskaya NV. *Native gold: general characteristics, typomorphism, genesis issues*. Moscow: Nauka; 1973. 347 p. (In Russ.)
6. Litvintsev VS. Rational development of noble metal placer mining waste in the east of Russia. *Journal of Mining Science*. 2015;51:118–123. <https://doi.org/10.1134/S1062739115010159>
7. Litvintsev VS, Banshchikova TS, Leonenko NA, Alekseev VS. Effective methods for gold recovery from mining wastes at placers. *Journal of Mining Science*. 2012;48:198–202. <https://doi.org/10.1134/S1062739148010224>
8. Mirzehhanov GS, Mirzehhanova ZG. Forward appraisal of potential gold content of dredge and sluice tailings dumps at placers in Russia's Far East. *Journal of Mining Science*. 2020;56:259–267. <https://doi.org/10.1134/S1062739120026733>
9. Parkhurst DW. Gold recovery in placer mining. *California Mining Journal*. 1998:11–14.
10. Cristovici MA. Recovery of gold from ore tailing ponds. *Canadian Mining and Metallurgical Bulletin*. 1986;79:27–33.
11. Lodochnikov VN. *Major rock-forming minerals*. Moscow: Nedra; 1974. 248 p. (In Russ.)
12. Ivanov VD, Prokop'ev SA. *Screw separators for ore and placer mining in Russia*. Moscow: Daksi; 2000. 239 p. (In Russ.)
13. Solomin KV, Fedorov OV. Gold- and platinum-bearing sand concentration on spiral separators. In: *Trudy Irgiredmeta = Irgiredmet Proceedings*. Iss. 7. Moscow: Metallurgizdat; 1958. p.164–170. (In Russ.)

Сведения об авторах / Information about the authors



Прокопьев Сергей Амперович,
кандидат технических наук,
начальник отдела комплексного использования минерального сырья,
Институт земной коры СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
ведущий инженер
Иркутский научный центр СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия,
директор по стратегическому развитию,
ООО ПК «Спирит»,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
e-mail: psa@spirit-irk.ru
Sergey A. Prokopiev,
Cand. Sci. (Eng.),
Head of the Department of Integrated Use of Mineral Raw Materials,
Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
Leading Engineer,
Irkutsk Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
134 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
Strategic Development Director,
LLC PC Spirit,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
e-mail: psa@spirit-irk.ru



Прокопьев Евгений Сергеевич,
ведущий инженер отдела комплексного использования минерального сырья,
Институт земной коры СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
ведущий инженер,
Иркутский научный центр СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия,
директор по технологиям и инновациям,
ООО ПК «Спирит»,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
e-mail: pes@spirit-irk.ru

Evgeniy S. Prokopyev,
Leading Engineer of the Department of Integrated Use of Mineral Raw Materials,
Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
Leading Engineer,
Irkutsk Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
134 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
Director of Technology and Innovation,
LLC PC Spirit,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
e-mail: pes@spirit-irk.ru



Кадесников Игорь Владимирович,
инженер отдела комплексного использования минерального сырья,
Институт земной коры СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
руководитель группы обогащения россыпей,
ООО ПК «Спирит»,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
e-mail: kiv@spirit-irk.ru

Igor V. Kadesnikov,
Engineer of the Department of Integrated Use of Mineral Raw Materials,
Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
Leader of the Placer Beneficiation Group,
LLC PC Spirit,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
e-mail: kiv@spirit-irk.ru



Черимичкина Наталья Александровна,
кандидат химических наук,
инженер отдела комплексного использования минерального сырья,
Институт земной коры СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
заведующая группой гидрометаллургии,
ООО ПК «Спирит»,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
✉ e-mail: cna@spirit-irk.ru

Natalia A. Cherimichkina,
Cand. Sci. (Chemistry),
Engineer of the Department of Integrated Use of Mineral Raw Materials,
Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
Head of the Hydrometallurgy Group,
LLC PC Spirit,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
✉ e-mail: cna@spirit-irk.ru

**Заявленный вклад авторов / Contribution of the authors**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 23.09.2020; одобрена после рецензирования 20.10.2020; принятa к публикации 25.11.2020.

The article was submitted 23.09.2020; approved after reviewing 20.10.2020; accepted for publication 25.11.2020.



Оригинальная статья / Original article

УДК 622.276.6

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-4-467-475>



Исследование влияния растворения диоксида углерода в нефти на агрегацию асфальтенов в условиях месторождений Республики Башкортостан

© А.И. Шаяхметова^a, В.Л. Малышев^b, Е.Ф. Моисеева^c, А.И. Пономарев^d, Ю.В. Зейгман^e

^{a–e}Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия

Резюме: Целью данного исследования является изучение влияния растворения в нефти диоксида углерода на агрегацию ассоциатов асфальтенов и на снижение нефтепроницаемости песчаников. Авторами рассмотрены варианты взаимодействия нефти с диоксидом углерода в свободном объеме до закачки в пористую среду и непосредственно в пористой среде. Изучено влияние состава нефти на агрегацию ассоциатов асфальтенов. Влияние растворенного диоксида углерода на дисперсность ассоциатов в нефти изучалось путем фильтрации ее в песчаниках. Агрегирование асфальтенов, если оно происходит в пористой среде, сопровождается закупоркой пор со снижением проницаемости пород, вызывает осложнения при освоении скважин под закачку диоксида углерода и в конечном счете затрудняет достижение запланированных показателей добычи и нефтеотдачи пласта. При взаимодействии нефти с диоксидом углерода в свободном объеме до закачки в пористую среду установлено, что с увеличением объема профильтрованной нефти и концентрации растворенного в нефти диоксида углерода, а также с уменьшением проницаемости песчаника относительная подвижность нефти с растворенным диоксидом углерода снижается. Значительное влияние проницаемости песчаника на результаты экспериментов указывает на то, что размеры агрегатов асфальтенов сопоставимы с размерами мелких пор. Полного затухания фильтрации в песчаниках после пропускания нефти с растворенным в ней диоксидом углерода не наблюдается. На основе анализа изменения состава и свойств нефти в ходе лабораторных экспериментов по вытеснению нефти оторочками диоксида углерода установлено, что при непосредственном контакте нефти с диоксидом углерода в пористой среде происходит агрегация ассоциатов асфальтенов. С увеличением содержания асфальтенов в составе нефти нефтепроницаемость пласта существенно снижается. При этом более значительное снижение проницаемости наблюдается в малопроницаемых пластах.

Ключевые слова: диоксид углерода, асфальтены, повышение нефтеотдачи

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-80006 «мол_эв_а».

Для цитирования: Шаяхметов А.И., Малышев В.Л., Моисеева Е.Ф., Пономарев А.И., Зейгман Ю.В. Исследование влияния растворения диоксида углерода в нефти на агрегацию асфальтенов в условиях месторождений Республики Башкортостан. *Науки о Земле и недропользование*. 2020. Т. 43. № 4. С. 467–475. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-4-467-475>

Studying the effect of carbon dioxide oil solubility on asphaltene aggregation under conditions of the Bashkortostan Republic fields

© Airat I. Shayakhmetov^a, Viktor L. Malyshев^b, Elena F. Moiseeva^c,
Alexander I. Ponomarev^d, Yuriy V. Zeigman^e

^{a–e}Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

Abstract: The purpose of this work is to study the effect of carbon dioxide oil solubility on the aggregation of asphaltene associates and decrease of oil permeability of sandstones. Consideration is given to the interaction variants of oil and carbon dioxide in a free volume before being injected into a porous medium and immediately in the porous medium. The influence of oil composition on the aggregation of asphaltene associates is studied. The effect of the dissolved carbon dioxide on associate dispersion in oil is examined through oil filtering in sandstones. If asphaltene aggregation occurs in a porous medium it causes pore plugging leading to reduced permeability, complicates the development of carbon dioxide injection wells and, as a result, prevents from achieving the planned indicators of oil production and oil recovery. It is found that in the case when oil interacts with carbon dioxide in the free volume before being injected into a porous medium, the increase in the volume of filtered oil and the concentration of carbon dioxide dissolved in oil, and decrease in sandstone



permeability reduce the relative mobility of oil with the dissolved carbon dioxide. The significant influence of sandstone permeability on the experimental results indicates that the sizes of asphaltene aggregates are comparable to the sizes of small pores. We have not observed complete attenuation of filtration after passing of oil with dissolved carbon dioxide through sandstones. Based on the analysis of changes in oil composition and properties carried out in the laboratory experiments on oil displacement by carbon dioxide rims, it has been determined that aggregation of asphaltene associates takes place under immediate contact of oil and carbon dioxide in a porous medium. The higher the asphaltene content in oil, the lower the formation permeability, whereas tight formations feature a more significant decrease in permeability.

Keywords: carbon dioxide, asphaltenes, enhanced oil recovery

Acknowledgments: The work has been carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (scientific project no. 20-35-80006 "mol_ev_a").

For citation: Shayakhmetov AI, Malyshев VL, Moiseeva EF, Ponomarev AI, Zeigman YuV. Studying the effect of carbon dioxide oil solubility on asphaltene aggregation under conditions of the Bashkortostan Republic fields. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2020;43(4):467–475. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-4-467-475>

Введение

Закачка диоксида углерода, или углекислого газа, в нефтяные пласты во всем мире является одним из наиболее распространенных методов газового воздействия, позволяющим при определенных условиях увеличить нефтеотдачу пластов по сравнению с традиционным заводнением [1, 2]. Положительный эффект применения углекислого газа достигается за счет его влияния на поверхностные явления в пласте и на свойства нефти, воды и коллектора [3–6]. Данная технология широко используется в таких странах, как Соединенные Штаты Америки, Канада, Венгрия, Турция, Китай и другие [7, 8].

В России большой объем исследований влияния диоксида углерода на свойства нефти, воды, пород коллектора, а также на возможность увеличения нефтеотдачи пластов приходится на 1960–1980-е гг. Для месторождений Башкортостана, Татарстана и других регионов России было показано, что при вытеснении нефти карбонизированной водой, содержащей до 50 % углекислого газа, и двуокисью углерода в виде единичных и чередующихся с водой оторочек различного размера коэффициент вытеснения нефти может быть увеличен на 5–16 пунктов при несмешивающемся вытеснении и до 23 пунктов в условиях, близких к смесимости нефти с двуокисью углерода. Кроме того, комплексные исследования воздействия углекислого газа на свойства нефти, воды и пород-коллекторов, элементарные акты процесса вытеснения позволили раскрыть многие особенности механизма вытеснения нефти водой в присутствии двуокиси углерода [9].

Одним из факторов, ограничивающих активное применение диоксида углерода, является агрегация ассоциатов асфальтенов в нефти при растворении больших объемов диоксида углерода [10, 11]. Агрегирование асфальтенов, если оно происходит в пористой среде, сопровождается закупоркой пор со снижением проницаемости пород, вызывает осложнения при освоении скважин под закачку углекислого газа и в конечном счете затрудняет достижение запланированных показателей добычи и нефтеотдачи пласта [12]. Изучение механизма и последствий взаимодействия углекислого газа с высокомолекулярными компонентами нефти в пласте позволяет правильно подобрать химические реагенты и повысить эффективность использования диоксида углерода для повышения нефтеотдачи пластов.

Первый в России промысловый эксперимент по закачке карбонизированной воды в нефтяной пласт был проведен в 1967 г. на Александровской площади Туймазинского месторождения. В 1980-х гг. опытно-промышленная закачка диоксида углерода была реализована на Радаевском, Козловском, Елабужском, Ольховском и Сергеевском месторождениях [13–15]. Удельный эффект составил от 0,125 до 0,28 т дополнительной добычи нефти на 1 т закачанной жидкой углекислого газа [16, 17]. Из-за возникающих технологических осложнений в процессе реализации закачки диоксида углерода в нефтяные пласты, а именно коррозии наземного и внутристекажинного оборудования, а также агрегации асфальтеновых частиц в призабойной зоне пласта нагнетательных скважин, приводящих



к снижению их приемистости, все проекты по закачке углекислого газа до конца 1980-х – начала 1990-х гг. в России были закрыты [18–20].

Целью данной работы явилось исследование влияния растворения в нефти диоксида углерода на агрегацию ассоциатов асфальтенов и на снижение нефтепроницаемости песчаников. В ходе исследования были рассмотрены варианты взаимодействия нефти с диоксидом углерода в свободном объеме до закачки в пористую среду и непосредственно в пористой среде. Также изучено влияние состава нефти на агрегацию ассоциатов асфальтенов.

Материалы и методы исследования

Экспериментальное изучение влияния растворенной двуокиси углерода на состояние высокомолекулярных компонентов было проведено на трех различных по составу пробах нефти, отобранных из месторождений Республики Башкортостан. Физические свойства и состав исследуемых образцов даны в табл. 1.

Изучение влияния количества растворенного в нефти диоксида углерода на дисперсность асфальтенов с использованием фильтрационного метода. Влияние растворенного диоксида углерода на дисперсность

ассоциатов в нефти изучалось путем фильтрации ее в песчаниках. При этом пористая среда выполняла роль фильтра (сита) с размерами пор до 40–50 мкм. Для эксперимента были выбраны пробы нефти № 1 и № 2. Опыты проводились на фильтрационной установке при температуре 40 °С и давлении 10 МПа.

Для изучения дисперсности асфальтенов в образцах нефти ступенями растворялось до 20 % масс. углекислого газа. После каждой ступени нефть фильтровалась через песчаники с различной абсолютной проницаемостью и изучалась подвижность нефти при больших объемах прокачки. Величина подвижности определялась после пропускания через песчаник объема нефти, кратного величине порового объема (до 12 поровых объемов нефти с углекислым газом). Размеры и физические свойства песчаников приведены в табл. 2.

Исследование агрегации асфальтенов при взаимодействии нефти и диоксида углерода в пористой среде. В опытах использовались пробы нефти, приведенные в табл. 1. Температура пористой среды в присутствии диоксида углерода не превышала 31 °С. Давление в установке поддерживалось равным 10 МПа – выше давления насыщения нефти газом.

Таблица 1. Физические свойства и состав дегазированной нефти
Table 1. Physical properties and composition of dead oil

Параметр	Величина параметров нефти		
	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3
Пластовая температура, °С	40	40	40
Плотность нефти при стандартных условиях, кг/м ³	906	910	832
Динамическая вязкость нефти при стандартных условиях, мПа·с	101,2	47	25,4
Температура насыщения нефти парафином, °С	27,5	28	36
Массовое содержание, %:			
– асфальтенов;	7,9	4,8	3,3
– селикагелевых смол;	18,2	16,8	10,4
– парафинов	1,3	0,7	1,5

Таблица 2. Сведения о геометрических размерах и свойствах образцов песчаника
Table 2. Information on geometric dimensions and properties of sandstone samples

Номер образца	Длина, см	Площадь поперечного сечения, см ²	Пористость, %	Проницаемость, мД	
				По воздуху	По нефти
1	3,21	6,07	14,5	27	4
2	3,6	6,38	19,4	345	186



На практике вблизи нагнетательных скважин, а также в зонах, обойденных фронтом вытеснения, нефть контактирует с оторочкой углекислого газа. В связи с этим при проведении экспериментов была предусмотрена возможность контакта нефти с углекислым газом непосредственно в пористой среде. При вытеснении нефти из модели пласта была использована оторочка жидкого диоксида углерода, равная двум поровым объемам.

Модели пласта были составлены из кернов естественных песчаников со средними абсолютными проницаемостями 1,14; 0,37 и 0,074 мкм². Диаметр цилиндрических образцов пород составлялся равным 28–30 мм. Образцы пород при составлении модели пласта были подобраны таким образом, чтобы отклонение проницаемости каждого отдельного образца не превышало 5 % от средней проницаемости модели пласта.

Опыты по изучению агрегации и диспергированию асфальтенов при контактировании нефти непосредственно с жидким диоксидом углерода в пористой среде призабойной зоны нагнетательных скважин проводились в следующем порядке:

- фильтрация исходной нефти;
- вытеснение нефти оторочкой жидкого диоксида углерода;
- вытеснение оторочки диоксида углерода исходной нефтью;
- фильтрация исходной нефти.

Результаты исследования

Результаты исследования влияния количества растворенного в нефти диоксида уг-

лерода на дисперсность асфальтенов. В качестве базового варианта в каждой серии опытов моделировалась фильтрация нефти. При фильтрации через модель пласта менее 12 поровых объемов нефти коэффициент подвижности не изменялся. Далее после каждой ступени растворения углекислого газа определялась подвижность нефти при фильтрации через образцы больших ее объемов. Результаты этих измерений приведены в табл. 3 и 4. Из данных таблиц следует, что заметное снижение подвижности нефти проб № 1 и № 2 при фильтрации через песчаники происходит при массовых концентрациях растворенного углекислого газа свыше 11 и 6 % соответственно, что вызвано агрегацией ассоциатов асфальтенов.

Обобщение результатов проведенных опытов показало, что относительная подвижность нефти существенно зависит от объема нефти, прокачанного через песчаник, содержащая в ней асфальтенов и проницаемости пористой среды. Здесь под относительной подвижностью понимается отношение подвижности нефти после прокачки через песчаник определенного порового объема нефти, содержащей углекислый газ, к подвижности той же нефти через этот же песчаник в начале каждой серии опытов. С увеличением объема профильтрованной нефти и концентрации растворенного в нефти диоксида углерода, а также с уменьшением проницаемости песчаника относительная подвижность нефти с растворенным диоксидом углерода снижается. Значительное влияние проницаемости песчаника на результаты экспериментов указывает

Таблица 3. Изменение относительной подвижности при прокачке нефти пробы № 1 через песчаник № 1

Table 3. Change in relative mobility when pumping sample no. 1 oil through sandstone no. 1

Массовая концентрация диоксида углерода в нефти, %	Относительная подвижность нефти после прокачки различных поровых объемов жидкости через песчаник							
	1	2	4	6	8	10	12	14
0	1	1	1	1	1	1	1	1
2,2	1	1	1	1	1	1	1	1
4,4	1	1	1	1	1	1	1	1
6,7	1	1	1	1	1	1	1	1
9,1	1	1	1	1	1	1	1	1
11,6	1	0,979	0,945	0,906	0,892	0,888	0,828	0,812
15,5	1	0,905	0,801	0,697	0,611	0,53	0,478	0,444
18	1	0,798	0,611	0,463	0,395	0,33	0,278	0,24



Таблица 4. Изменение относительной подвижности при прокачке

нефти пробы № 2 через песчаник № 2

Table 4. Change in relative mobility when pumping sample no. 2 oil through sandstone no. 2

Массовая концентрация диоксида углерода в нефти, %	Относительная подвижность нефти после прокачки различных поровых объемов жидкости через песчаник							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	0,917	0,917	0,835	0,785	0,74	0,698	0,698
9,1	1	1	1	1	1	1	1	1
12,4	1	1	1	1	1	1	1	1
13,3	1	1	1	1	0,733	0,733	0,667	0,667
14,6	1	1	0,894	0,84	0,801	0,779	0,712	0,712
19,3	1	1	0,73	0,6	0,59	0,571	0,584	0,584
20,5	1	0,863	0,744	0,736	0,614	0,547	0,53	0,478

на то, что размеры агрегатов асфальтенов со-поставимы с размерами мелких пор. Полного затухания фильтрации в песчаниках после пропускания нефти с растворенным в ней уг-лекислым газом не наблюдается.

Результаты исследований взаимодействия нефти и диоксида углерода в пористой среде. Результаты анализа состава нефти при фильтрации ее с диоксидом углерода в пористой среде приведены в табл. 5–7. Из этих таблиц следует, что в опытах по вытеснению оторочками углекислого газа малосмолистой нефти (проба № 3) из высокопроницаемого песчаника состав нефти при контакте с углекислым газом не меняется,

а при вытеснении высокосмолистой нефти (проба № 1) из менее проницаемого песчаника состав нефти изменяется, но незначительно.

При вытеснении нефти оторочкой углекислого газа содержание асфальтенов снижается. Это обусловлено агрегацией ассоциатов асфальтенов при контакте нефти с углекислым газом и отложениями их в порах модели пласта. В дальнейшем при контакте нефти с оторочкой углекислого газа наблюдается повышение содержания асфальтенов в составе профильтрованной через модель пласта нефти. Высоковязкая нефть, движущаяся вслед за жидким оторочкой диоксида углерода,

Таблица 5. Изменение состава малосмолистой нефти (проба № 3) при вытеснении оторочки диоксида углерода из модели пласта с проницаемостью $1,14 \text{ мкм}^2$

Table 5. Changes in low-resinous oil composition (sample no. 3) when displacing carbon dioxide rim from the reservoir model with the permeability of $1.14 \text{ } \mu\text{m}^2$

Номер этапа	Условие отбора проб нефти	Массовое содержание, %		
		Асфальтенов	Силикагелевых смол	Парафинов
1	Фильтрация однофазной нефти	3,3	10,4	1,5
2	Вытеснение нефти оторочкой диоксида углерода	3,3	10	1,4
3	Вытеснение оторочки диоксида углерода нефтью	3,3	10,6	1,4
4	Фильтрация однофазной нефти	3,2	10,4	1,5

Таблица 6. Изменение состава высокосмолистой нефти (проба № 1) при вытеснении оторочки диоксида углерода из модели пласта с проницаемостью $0,074 \text{ мкм}^2$

Table 6. Changes in highly resinous oil composition (sample no. 1) when displacing carbon dioxide rim from the reservoir model with the permeability of $0.074 \text{ } \mu\text{m}^2$

Номер этапа	Условие отбора проб нефти	Массовое содержание, %		
		Асфальтенов	Силикагелевых смол	Парафинов
1	Фильтрация однофазной нефти	7,9	18,2	1,3
2	Вытеснение нефти оторочкой диоксида углерода	7,7	18,8	1,3
3	Вытеснение оторочки диоксида углерода нефтью	8,2	20,1	1,2
4	Фильтрация однофазной нефти	7,9	18,2	1,3

**Таблица 7. Изменение нефтепроницаемости модели пласта****после контакта нефти с диоксидом углерода****Table 7. Changes in oil permeability of the reservoir model after oil and carbon dioxide contact**

Номер модели пласта	Абсолютная проницаемость, мкм ²	Изменение (снижение) нефтепроницаемости при фильтрации, %		
		Проба нефти № 3	Проба нефти № 2	Проба нефти № 1
1	1,14	0	0	3
2	0,37	0	10	42
3	0,074	11	25	66

частично вытесняет агрегаты асфальтенов из модели пласта. С увеличением содержания асфальтенов в составе нефти нефтепроницаемость пласта существенно снижается, причем более значительное снижение проницаемости наблюдается в малопроницаемых пластах (см. табл. 7).

Заключение

На основе анализа изменения состава и свойств нефти в лабораторных экспериментах по вытеснению нефти оторочками углекислого газа установлено, что при непосредственном контакте нефти с диоксидом углерода в пористой среде происходит агрегация

ассоциатов асфальтенов. Полного затухания фильтрации не происходит. Агрегаты асфальтенов закупоривают поры небольших размеров. Извлечение агрегатов асфальтенов из пористой среды возможно с использованием высоковязкой жидкости. Результаты экспериментов следует учитывать при идентификации причин снижения приемистости нагнетательных скважин при закачке оторочек углекислого газа, а также при выборе химических реагентов для повышения приемистости скважин и доизвлечения остаточной нефти из зон, не охваченных вытеснением, после закачки в пласт оторочек углекислого газа.

Список литературы

1. Aycaguer A.-C., Lev-On M., Winer A.M. Reducing carbon dioxide emissions with enhanced oil recovery projects: a life cycle assessment approach // Energy & Fuels. 2001. Vol. 15. Iss. 2. P. 303–308. <https://doi.org/10.1021/ef000258a>
2. Wu S., Zhao D., Li Z., Zhu Q. New evaluation function for the oil recovery and carbon sequestration of CO₂-EOR project // International Journal of Computer Applications in Technology. 2016. Vol. 54. Iss. 1. P. 14–22. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2016.077794>
3. Song Z., Zhu W., Wang X., Guo S. 2-D pore-scale experimental investigations of asphaltene deposition and heavy oil recovery by CO₂ flooding // Energy & Fuels. 2018. Vol. 32. Iss. 3. P. 3194–3201. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b03805>
4. Liu B., Li J., Qi C., Li X., Mai T., Zhang J. Mechanism of asphaltene aggregation induced by supercritical CO₂: insights from molecular dynamics simulation // RSC Advances. 2017. Vol. 80. Iss. 7. P. 50786–50793. <https://doi.org/10.1039/c7ra09736k>
5. Farajzadeh R., Andrianov A., Bruining H., Zitha P.L.J. Comparative study of CO₂ and N₂ foams in porous media at low and high pressure-temperatures // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2009. Vol. 48. Iss. 9. P. 4542–4552. <https://doi.org/10.1021/ie801760u>
6. Godec M.L., Kuuskraa V.A., Dipietro P. Opportunities for using anthropogenic CO₂ for enhanced oil recovery and CO₂ storage // Energy & Fuels. 2013. Vol. 27. Iss. 8. P. 467–475. <https://doi.org/10.1021/ie801760u>
7. Zhang N., Wei M., Bai B. Statistical and analytical review of worldwide CO₂ immiscible field applications // Fuel. 2018. Vol. 220. P. 89–100. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.01.140>
8. Alfarge D., Wei M., Bai B. CO₂-EOR mechanisms in huff-n-puff operations in shale oil reservoirs based on history matching results // Fuel. 2018. Vol. 226. P. 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.04.012>
9. Лозин Е.В., Масагутов Р.Х., Баймухаметов К.С., Родионов В.П., Никитин В.Т., Алмаев Р.Х. [и др.]. Вклад ученых Башнипинефти в развитие нефтедобывающей промышленности Башкортостана: монография. Уфа: Башнефть, 2002. 304 с.
10. Jafari Behbahani T., Ghotbi C., Taghikhani V., Shahrabadi A. Investigation of asphaltene adsorption in sandstone core sample during CO₂ injection: experimental and modified modeling // Fuel. 2014. Vol. 133. P. 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.04.079>
11. Leontaritis K.J., Ali Mansoori G. Asphaltene deposition: a survey of field experiences and research approaches // Journal of Petroleum Science and Engineering. 1988. Vol. 1. Iss. 3. P. 229–239. [https://doi.org/10.1016/0920-4105\(88\)90013-7](https://doi.org/10.1016/0920-4105(88)90013-7)
12. Almehaideb R.A. Asphaltene precipitation and deposition in the near wellbore region: a modeling approach // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2004. Vol. 42. Iss. 2-4. P. 157–170. <https://doi.org/10.1016/j.peteng.2004.07.001>



10.1016/j.petrol.2003.12.008

13. Трухина О.С., Синцов И.А. Опыт применения углекислого газа для повышения нефтеотдачи пластов // Успехи современного естествознания. 2016. № 3. С. 205–209.

14. Разработка нефтяных месторождений. В 4 т. Т. 4. Закачка и распределение технологических жидкостей по объектам разработки / ред. Н.И. Хисамутдинов, Г.З. Ибрагимов. М.: Изд-во ВНИИОЭНГ, 1994. 262 с.

15. Штоф М.Д., Райхман Б.Н., Никитина Р.В., Фаловский В.И. Изменение свойств нефти пласта А3 Козловского месторождения при ее смешении с углекислотой // Труды Гипровостокнефти: сб. науч. тр. Куйбышев: Изд-во Гипровостокнефти, 1984. С. 102–105.

16. Калинин С.А., Морозюк О.А. Разработка месторождений высоковязкой нефти в карбонатных коллекторах с использованием диоксида углерода. Анализ мирового опыта // Вестник Пермского национального

исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2019. Т. 19. № 4. С. 373–387.

17. Mamedov Y.G., Bokserman A.A. Application of Improved Oil Recovery in the Soviet Union // SPE/DOE Enhanced Oil Recovery Symposium (Tulsa, 22–24 April 1992). Tulsa: Society of Petroleum Engineers, 1992. P. 53–64. <https://doi.org/10.2118/24162-MS>

18. Халимов Э.М., Леви Б.И., Дзюба В.И., Пономарев С.А. Технология повышения нефтеотдачи пластов. М.: Недра, 1984. 271 с.

19. Степанова Г.С. Газовые и водогазовые методы воздействия на нефтяные пласты. М.: Газоил пресс, 2006. 200 с.

20. Разработка нефтяных месторождений. В 4 т. Т. 1. Разработка нефтяных месторождений на поздней стадии / ред. Н.И. Хисамутдинов, М.М. Хасанов, А.Г. Телин. М.: Изд-во ВНИИОЭНГ, 1994. 240 с.

References

1. Aycaguer AC, Lev-On M, Winer AM. Reducing carbon dioxide emissions with enhanced oil recovery projects: a life cycle assessment approach. *Energy & Fuels*. 2001;15(2):303–308. <https://doi.org/10.1021/ef000258a>
2. Wu S, Zhao D, Li Z, Zhu Q. New evaluation function for the oil recovery and carbon sequestration of CO₂-EOR project. *International Journal of Computer Applications in Technology*. 2016;54(1):14–22. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2016.077794>
3. Song Z, Zhu W, Wang X, Guo S. 2-D pore-scale experimental investigations of asphaltene deposition and heavy oil recovery by CO₂ flooding. *Energy & Fuels*. 2018;32(3):3194–3201. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b03805>
4. Liu B, Li J, Qi C, Li X, Mai T, Zhang J. Mechanism of asphaltene aggregation induced by supercritical CO₂: insights from molecular dynamics simulation. *RSC Advances*. 2017;80(7):50786–50793. <https://doi.org/10.1039/c7ra09736k>
5. Farajzadeh R, Andrianov A, Bruining H, Zitha PLJ. Comparative study of CO₂ and N₂ foams in porous media at low and high pressure-temperatures. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2009;48(9):4542–4552. <https://doi.org/10.1021/ie801760u>
6. Godec ML, Kuuskraa VA, Dipietro P. Opportunities for using anthropogenic CO₂ for enhanced oil recovery and CO₂ storage. *Energy & Fuels*. 2013;27(8):4183–4189. <https://doi.org/10.1021/ef302040u>
7. Zhang N, Wei M, Bai B. Statistical and analytical review of worldwide CO₂ immiscible field applications. *Fuel*. 2018;220:89–100. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.01.140>
8. Alfarge D, Wei M, Bai B. CO₂-EOR mechanisms in huff-n-puff operations in shale oil reservoirs based on history matching results. *Fuel*. 2018;226:112–120. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.04.012>
9. Lozin EV, Masagutov RKh, Baimukhametov KS, Rodionov VP, Nikitin VT, Almaev RKh, et al. Contribution of Bashnipineft scientists to the development of Bashkortostan oil-extracting industry. Ufa: Bashneft'; 2002. 304 p. (In Russ.)
10. Jafari Behbahani T, Ghotbi C, Taghikhani V, Shahrabadi A. Investigation of asphaltene adsorption in sandstone core sample during CO₂ injection: experimental and modified modeling. *Fuel*. 2014;133:63–72. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.04.079>
11. Leontaritis KJ, Ali Mansoori G. Asphaltene deposition: a survey of field experiences and research approaches. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 1988;1(3):229–239. [https://doi.org/10.1016/0920-4105\(88\)90013-7](https://doi.org/10.1016/0920-4105(88)90013-7)
12. Almehaideb RA. Asphaltene precipitation and deposition in the near wellbore region: a modeling approach. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2004;42(2-4):157–170. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2003.12.008>
13. Trukhina OS, Sintsov IA. Experience of carbone dioxide usage for enhanced oil recovery. *Uspekhi sovremennoogo estestvoznaniya = Advances in Current Natural Sciences*. 2016;3:205–209. (In Russ.)
14. Khisamutdinov NI, Ibragimov GZ. *Development of oil fields*. In 4 vol. Vol. 4. *Injection of process fluids and their distribution by development sites*. Moscow: All-Russian Scientific Research Institute for Organization, Management and Economy of Oil and Gas Industry; 1994. 262 p. (In Russ.)
15. Shtof MD, Raikhman BN, Nikitina RV, Falovskii VI. Changes in properties of A3 layer oil of the Kozlovskoye field when mixed with carbon dioxide. In: *Trudy Giprovostoknefti = Giprovostokneft Proceedings*. Kuibyshev: Giprovostokneft'; 1984. p.102–105. (In Russ.)
16. Kalinin SA, Morozuk OA. Development of high viscosity oil fields in carbonate collectors using carbon dioxide. Analysis of world experience. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoе delo = Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*. 2019;19(4):373–387. (In Russ.)



17. Mamedov YG, Bokserman AA. Application of Improved Oil Recovery in the Soviet Union. In: *SPE/DOE Enhanced Oil Recovery Symposium*. 22–24 April 1992, Tulsa. Tulsa: Society of Petroleum Engineers; 1992. p.53–64. <https://doi.org/10.2118/24162-MS>

18. Khalimov EM, Levi BI, Dzyuba VI, Ponomarev SA. *Enhanced oil recovery technology*. Moscow: Nedra; 1984. 271 p. (In Russ.)

19. Stepanova GS. *Gas and water-gas recovery methods for oil reservoirs*. Moscow: Gazoil press; 2006. 200 p. (In Russ.)

20. Khisamutdinov NI, Khasanov MM, Telin AG. *Development of oil fields*. In 4 vol. Vol. 1. *Late stage of oil field development*. Moscow: All-Russian Scientific Research Institute for Organization, Management and Economy of Oil and Gas Industry; 1994. 240 p. (In Russ.)

Сведения об авторах / Information about the authors



Шаяхметов Айрат Ильфатович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры разработки и эксплуатации газовых
и нефтегазоконденсатных месторождений,
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1, Россия,
✉ e-mail: airat_shayahmeto@mail.ru

Airat I. Shayakhmetov,
Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor of the Department of Gas and Oil & Gas Condensate
Field Development and Operation,
Ufa State Petroleum Technological University,
1 Kosmonavtov St., Ufa 450064, Russia,
✉ e-mail: airat_shayahmeto@mail.ru



Малышев Виктор Леонидович,
кандидат физико-математических наук, доцент,
доцент кафедры разработки и эксплуатации газовых
и нефтегазоконденсатных месторождений,
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1, Россия,
e-mail: victor.l.malyshev@mail.ru

Viktor L. Malyshev,
Cand. Sci. (Phys. & Math.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Gas and Oil & Gas Condensate
Field Development and Operation,
Ufa State Petroleum Technological University,
1 Kosmonavtov St., Ufa 450064, Russia,
e-mail: victor.l.malyshev@mail.ru



Моисеева Елена Флоридовна,
кандидат физико-математических наук, доцент,
доцент кафедры разработки и эксплуатации газовых
и нефтегазоконденсатных месторождений,
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1, Россия,
e-mail: elena.f.moiseeva@gmail.com

Elena F. Moiseeva,
Cand. Sci. (Phys. & Math.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Gas and Oil & Gas Condensate
Field Development and Operation,
Ufa State Petroleum Technological University,
1 Kosmonavtov St., Ufa 450064, Russia,
e-mail: elena.f.moiseeva@gmail.com



Пономарев Александр Иосифович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой разработки и эксплуатации газовых
и нефтегазоконденсатных месторождений,
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1, Россия,
e-mail: pnmrv@mail.ru
Alexander I. Ponomarev,
Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Head of the Department of Gas and Oil & Gas Condensate
Field Development and Operation,
Ufa State Petroleum Technological University,
1 Kosmonavtov St., Ufa 450064, Russia,
e-mail: pnmrv@mail.ru



Зейгман Юрий Вениаминович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой разработки и эксплуатации нефтегазовых месторождений,
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1, Россия,
e-mail: jvzeigman@yandex.ru
Yuriy V. Zeigman,
Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Head of the Department of Oil & Gas Field Development and Operation,
Ufa State Petroleum Technological University,
1 Kosmonavtov St., Ufa 450064, Russia,
e-mail: jvzeigman@yandex.ru

Заявленный вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.*

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 03.09.2020; одобрена после рецензирования 06.10.2020; принятая к публикации 09.11.2020.
The article was submitted 03.09.2020; approved after reviewing 06.10.2020; accepted for publication 09.11.2020.



Оригинальная статья / Original article

УДК 331.45:613.6

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-4-476-485>

Профессиональные риски на объектах нефтегазодобычи Иркутской области

© С.С. Тимофеева^a, Н.А. Попова^b^{a,b}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме: Нефтегазодобывающая отрасль относится к сферам деятельности повышенной опасности. В настоящее время на предприятиях, относящихся к данным сферам деятельности, в том числе на объектах нефтегазодобычи, внедряется риск-ориентированный подход, который предполагает определение критерии и категорий риска, своевременную переоценку риска на основе актуализированных и сформированных нормативно-правовых документов. В связи с этим целью данного исследования являлся анализ системы управления профессиональными рисками и мероприятий по их минимизации с использованием нововведений и инновационных решений на объектах нефтегазодобычи в Иркутской области. Объектом исследования стали условия труда и профессиональные риски на объектах нефтегазодобычи двух ведущих нефтяных компаний Иркутской области: иркутских филиалов ООО «Газпром бурение» и ООО «РН-Бурение». В результате были проанализированы возможные причины несоответствия физических факторов производственной среды работников нефтяной промышленности при выполнении работ на нефтяных вышках. Произведена оценка профессиональных рисков, составлен реестр высокорисковых профессий и опасных зон технологических процессов при производстве работ на буровых установках нефтегазодобычи. Профессии, исследованные в данной работе, относятся к категориям высоких и средних по уровню рисков. Авторами было установлено, что неприемлемыми являются негативные воздействия движущихся машин и механизмов, общая вибрация, локальная вибрация, шум, пониженные температуры воздуха в зимний период времени. Для минимизации неприемлемых рисков предложено внедрение малозатратной технологии визуализации опасных зон на буровой установке с установлением проверенных инновационных барьеров безопасности, а также сопутствующим обучением сотрудников.

Ключевые слова: профессиональный риск, нефтегазодобыча, буровая установка, визуализация опасных зон, оценка риска, охрана труда

Для цитирования: Тимофеева С.С., Попова Н.А. Профессиональные риски на объектах нефтегазодобычи Иркутской области. *Науки о Земле и недропользование*. 2020. Т. 43. № 4. С. 476–485. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-4-476-485>

Occupational hazards at the Irkutsk region oil and gas production facilities

© Svetlana S. Timofeeva^a, Nadezhda A. Popova^b^{a,b}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract: The oil and gas industry belongs to the high risk activity. Today, the enterprises engaged in this field including oil and gas production facilities implement a risk-based approach, which involves the identification of risk criteria and risk categories, timely reassessment of risks based on updated and formed normative legal documents. In this regard, the purpose of this research is the analysis of the management system of occupational hazards and measures to minimize them using innovations and innovative solutions at the oil and gas production facilities in the Irkutsk region of the Russian Federation. The object of the study is working conditions and occupational hazards at the oil and gas production facilities of two leading oil companies of the Irkutsk region: they are the Irkutsk branch of Gazprom Bureniye LLC and the Irkutsk branch of RN-Bureniye LLC. As a result possible reasons for the discrepancy between the physical factors of the working environment of oil industry workers when performing works on oil rigs are analyzed. Professional risks having been assessed, a register of high-risk professions and hazardous areas of technological processes under the operation of oil and gas drilling rigs has been compiled. The professions studied in this paper are classified as high-risk and medium-risk ones. It is found out that the negative effects of moving machines and mechanisms, general vibration, local vibration, noise, low air temperatures in winter are unacceptable. To minimize unacceptable risks, it is proposed to introduce a low-cost technology for visualizing hazardous areas on a drilling rig with the installation of proven innovative safety barriers in addition to the related training of employees.

Keywords: occupational hazard (risk), oil and gas production, drilling rig, visualization of hazardous areas, risk assessment, labour protection



For citation: Timofeeva SS, Popova NA. Occupational hazards at the Irkutsk region oil and gas production facilities. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use.* 2020;43(4):476–485. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-4-476-485>

Введение

Нефтегазодобыча относится к сферам деятельности повышенной опасности, что обусловлено прежде всего объективными факторами, такими как суровый климат, удаленность от цивилизации, работа со сложным оборудованием, процессы в котором протекают при повышенных давлении и температуре, наличие химических веществ в воздухе рабочей зоны, высокая пожаро- и взрывоопасность и многие другие. Все это требует от нефтедобытчиков обеспечения эффективного управления рисками в области промышленной безопасности, охраны труда и окружающей среды, а именно сохранения жизни и здоровья людей, работающих на объектах, безопасности населения, проживающего в регионе их деятельности, пожарной и фонтанной безопасности, безопасности эксплуатации транспортных средств, менеджмента происшествий, предупреждения и реагирования на аварийные ситуации и т. д.

Так называемая регуляторная гильотина, запущенная в Российской Федерации, направлена на модернизацию законодательства в области управления рисками и предполагает осуществить переход от ранее действовавшей системы, ориентированной на компенсационные выплаты за утрату здоровья, медико-социальную помощь работникам, пострадавшим от производственных травм и профессиональных рисков, на современную систему, основанную на превентивных подходах постоянного улучшения условий труда, повышения безопасности производства и формирования культуры безопасного поведения работающих, создания системы управления рисками.

Риск-ориентированный подход, внедряемый в настоящее время на объектах нефтегазодобычи, предполагает определение категорий и критерии риска, периодическую переоценку риска на основе актуализированных нормативно-правовых документов. Категории риска присваиваются объекту на основании двух факторов: оценки потенциального вреда при игнорировании требований и степени

негативных последствий, оценки вероятности нарушения требований безопасности. Для объектов устанавливают классы или категории риска по воздействию на здоровье работающих, на окружающую среду, по возникновению чрезвычайных ситуаций и т. д. При этом риски классифицируют по пяти категориям: очень высокий, высокий, значительный, умеренный и пониженный. Для каждой категории определены частоты проверок: от ежегодных до проводящихся раз в два года, раз в три года, раз в пять, также возможно, что проверки вовсе не проводятся. Каждое предприятие заинтересовано в минимизации числа проверок и, соответственно, снижении класса рисков путем внедрения «умных технологий» и инноваций в сфере охраны труда и промышленной безопасности, а также в снижении финансовых потерь от неудовлетворительных условий труда на предприятии [1, 2].

Целью настоящей работы является анализ системы управления профессиональными рисками и мероприятий по их минимизации с использованием нововведений и инновационных решений на объектах нефтегазодобычи в Иркутской области.

Объект и методы исследования

В настоящее время Иркутская область является лидером по темпам роста добычи нефти. Общая оценка прогнозных извлекаемых ресурсов углеводородов в Иркутской области по нефти составляет 2,05 млрд т, по газу – 7,5 трлн м³. Открыты и успешно эксплуатируются крупные месторождения: Ковыктинское, Верхнечонское, Ярактинское, Дульсыминское и другие. Регион обеспечил максимальный прирост добычи в физическом выражении – 3,3 млн т [3–5].

В данной работе исследованы условия труда и профессиональные риски на объектах нефтегазодобычи двух ведущих нефтяных компаний в Иркутской области: иркутских филиалов ООО «Газпром бурение» (Ковыктинское газоконденсатное месторождение, Жигаловский район) и ООО «РН-Бурение» (лицензионный участок № 71 Даниловский



на расстоянии 530 км от с. Ербогачён Катангского района).

В ходе исследования оценивали риски на основе материалов обязательной для всех процедуры специальной оценки условий труда рабочих основных профессий, участвующих в добыче углеводородного сырья, а именно: буровой мастер, супервайзер, помощник бурового мастера, бурильщик эксплуатационного и разведочного бурения скважин на нефть и газ при бурении скважин, помощник бурильщика эксплуатационного и разведочного бурения скважин на нефть и газ при бурении скважин (пятый разряд), слесарь по обслуживанию буровых установок эксплуатационного и разведочного бурения на нефть и газ, электромонтер по обслуживанию буровых установок эксплуатационного и разведочного бурения на нефть и газ, вышкомонтажник. Для сравнения двух предприятий выбрано аналогичное оборудование – буровая установка БУ 5000/320 ЭСК-БМЧ.

Оценка профессиональных рисков проводилась в соответствии с классификацией условий труда согласно Методике проведения специальной оценки условий труда¹ и Методике прогнозной оценки профессиональных рисков² [6].

Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии с Трудовым кодексом Российской Федерации «профессиональный риск – это вероятность повреждения (утраты) здоровья или смерти застрахованного, связанная с исполнением им обязанностей по трудовому договору». Нормативными документами Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации и стандар-

тами серии «Менеджмент риска»^{3–5} определены требования к системе управления охраной труда в организации и прописаны процедуры оценки производственных рисков.

Каждый профессиональный риск должен рассматриваться с точки зрения вероятности его наступления и тяжести последствий. При этом выявляются основные опасности, которые имеют наивысший шанс случиться, а также влекут наиболее серьезные проблемы со здоровьем у сотрудников. Как правило, это факторы, возникающие из-за особенностей технологии или оборудования на предприятии. Важно учитывать возможность одновременного наступления рисков и каскадного проявления их последствий.

По степени риска различают: пренебрежимо малую степень риска (степень такого риска, наличием которого можно пренебречь и, не предпринимая никаких специальных мер обеспечения безопасности, допустить персонал к выполнению работ, производимых в рамках общих мер безопасного поведения и безопасных приемов труда, практически без использования специально предусмотренных мер и средств обеспечения безопасности); допустимую степень риска (степень такого риска, при котором организация может допустить работающих к выполнению работ, но только при строгом соблюдении установленных регламентов выполнения работ и использования регламентированных мер и средств безопасности); недопустимую степень риска (степень такого высокого социально значимого риска, при котором организация не может допустить персонал к выполнению работ при применяемых регламентах выполнения работ, регламентированных мер и средств

¹ Тимофеева С.С. Специальная оценка условий труда: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2018. 432 с.

² Тимофеева С.С. Методы и технологии оценки производственных рисков: практикум. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. 180 с.

³ ГОСТ 12.0.230.2-2015. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда в организациях. Оценка соответствия. Требования // Консорциум кодекс [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200136074> (14.09.2020).

⁴ ГОСТ 12.0.230.4-2018. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Методы идентификации опасностей на различных этапах выполнения работ // Консорциум кодекс [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200160464> (14.09.2020).

⁵ ГОСТ 12.0.230.5-2018. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Методы оценки риска для обеспечения безопасности выполнения работ // Консорциум кодекс [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200160465> (14.09.2020).



безопасности из-за возможности серьезного происшествия)⁶.

В соответствии с государственным стандартом, вступившим в силу 1 марта 2020 г.⁷, предприятиям предлагается множество методик оценки рисков⁸, которые они вправе использовать при определении класса риска для своей организации.

Выбор методики анализа рисков остается непосредственно за исследователем. Основываясь на результатах собственных исследований по оценке рисков нефтегазодобывающих предприятий, свой выбор авторы данной статьи остановили на балльной методике по результатам фактических замеров факторов, непосредственно воздействующих на участников технологического процесса, а также на матричном методе.

На работников буровых установок иркутских филиалов ООО «Газпром бурение» и ООО «РН-Бурение» действует комплекс производственных факторов (химические вещества, шум, вибрация, неблагоприятный микроклимат и т. д.). Факторы могут изменяться в широком диапазоне в течение смены и часто превышать предельно допустимые величины.

Общая оценка условий труда на рабочих местах этих профессий характеризуется вредным третьим классом с разной степенью вредности. Ведущими факторами являются шум и вибрация на фоне неблагоприятного микроклимата (работы в областях, приравненным к районам Крайнего Севера). Климат

местности проведения буровых работ – резко континентальный.

При оценке негативного воздействия также были выявлены основные источники загрязнения: силовые агрегаты буровой установки, работа автотранспорта и дорожной техники, дизель-генераторная станция АСДА-100, электростанции, сварочные работы, факел, склады горюче-смазочных материалов и другие.

Негативные последствия усиливаются охлаждающим микроклиматом рабочих мест (работой в областях, приравненным к районам Крайнего Севера), характеристики которого представлены в табл. 1, а также поступлением в воздух рабочей зоны газов: черного углерода (сажа), оксидов азота (IV, II), марганца и его соединений, диоксида серы, оксида углерода и т. д.

Обобщенный уровень безопасности на каждом рабочем месте равен произведению всех уровней безопасности по каждому фактору производственной среды для отдельно взятой профессии.

В результате расчетов получены средние значения обобщенных уровней профессионального риска для иркутских филиалов ООО «Газпром бурение» и ООО «РН-Бурение» (рис. 1). По результатам произведенной оценки рисков было выявлено, что уровни риска исследуемых профессий относятся к категориям высоких и средних (табл. 2).

Таблица 1. Климатические характеристики анализируемых районов

Table 1. Climate characteristics of the analyzed areas

Наименование организации	Район	Тип климата	Максимальная температура летом, °C	Минимальная температура зимой, °C	Годовая влажность воздуха, %	Скорость ветра, м/с
Иркутский филиал ООО «Газпром бурение»	Жигаловский	Резко континентальный	37,5	-55	77	1,3
Иркутский филиал ООО «РН-Бурение»	Катангский	Резко континентальный	38	-59	74	1,8

⁶ ГОСТ 12.0.230.5-2018. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Методы оценки риска для обеспечения безопасности выполнения работ // Консорциум кодекс [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200160465> (14.09.2020).

⁷ ГОСТ Р 58771-2019. Менеджмент риска. Технологии оценки риска // Консорциум кодекс [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200170253> (14.09.2020).

⁸ ГОСТ Р 51897-2011. Руководство ИСО 73:2009. Менеджмент риска. Термины и определения // Консорциум кодекс [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200088035> (14.09.2020).

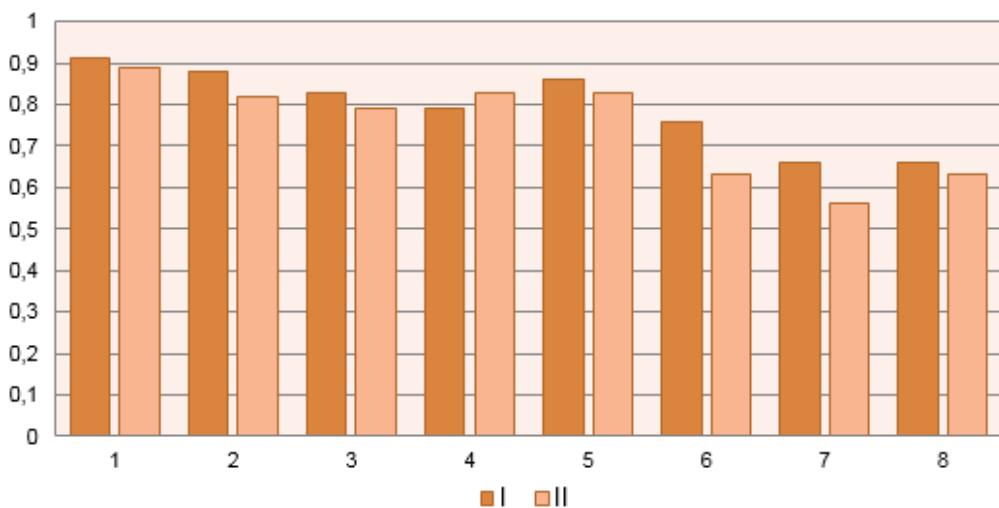


Рис. 1. Значения обобщенных уровней профессионального риска для каждой профессии при ведении работ:

I – иркутский филиал ООО «Газпром бурение»; II – иркутский филиал ООО «РН-Бурение»

- 1 – бурильщик эксплуатационного и разведочного бурения скважин на нефть и газ при бурении скважин;
- 2 – помощник бурильщика эксплуатационного и разведочного бурения скважин на нефть и газ при бурении скважин;
- 3 – слесарь по обслуживанию буровых установок эксплуатационного и разведочного бурения на нефть и газ;
- 4 – электромонтер по обслуживанию буровых установок эксплуатационного и разведочного бурения на нефть и газ;
- 5 – вышкомонтажник;
- 6 – буровой мастер;
- 7 – супервайзер;
- 8 – помощник бурового мастера

Fig. 1. Values of the generalized levels of occupational hazards for each profession in the course of work at:

I – Irkutsk branch of Gazprom Bureniye LLC; II – Irkutsk branch of RN-Bureniye LLC

1 – driller for production and exploratory drilling of oil and gas wells;

2 – assistant driller for production and exploratory drilling of oil and gas wells;

3 – drilling rig maintenance man at production and exploratory drilling of oil and gas wells;

4 – drilling rig maintenance electrician at production and exploratory drilling of oil and gas wells;

5 – rig builder; 6 – drilling foreman; 7 – supervisor; 8 – drilling foreman assistant

Таблица 2. Уровни профессионального риска для каждой профессии

при проведении работ на буровой установке по добыче нефти и газа

Table 2. Occupational hazard levels for each profession when operating oil and gas drilling rigs

Профессия	Значение профессионального риска		Среднее значение	Уровень риска
	Иркутский филиал ООО «Газпром бурение»	Иркутский филиал ООО «РН-Бурение»		
Бурильщик эксплуатационного и разведочного бурения скважин на нефть и газ при бурении скважин	0,91	0,89	0,9	Высокий
Помощник бурильщика эксплуатационного и разведочного бурения скважин на нефть и газ при бурении скважин	0,88	0,82	0,85	Высокий
Слесарь по обслуживанию буровых установок эксплуатационного и разведочного бурения на нефть и газ	0,83	0,79	0,81	Высокий
Электромонтер по обслуживанию буровых установок эксплуатационного и разведочного бурения на нефть и газ	0,79	0,83	0,81	Высокий
Вышкомонтажник	0,86	0,83	0,85	Высокий
Буровой мастер	0,76	0,63	0,69	Высокий
Супервайзер	0,66	0,56	0,61	Средний
Помощник бурового мастера	0,66	0,63	0,65	Средний



В ходе идентификации рисков при работе на буровой установке установлено, что наибольшую опасность для персонала представляют следующие: опасность травмирования, в том числе в результате выброса подвижной обрабатываемой детали, а также падающими или выбрасываемыми предметами, движущимися частями оборудования; опасность раздавливания, в том числе из-за попадания под движущиеся части механизмов; затягивание, защемление, сдавливание, удары, разрывание; поскользывание.

Предупредить наступление таких рисков возможно, если внедрить на предприятие современную малозатратную технологию визуализации опасных зон [7–11]. Визуализацией рабочего пространства называется нанесение разметки, знаков безопасности в опасной зоне в удобной для зрительного восприятия форме с обозначением существующих опасностей и рисков. Данная технология включает в себя возможность демаркации опасных зон – обозначения границ опасной зоны сигнальными, защитными ограждениями, знаками безопасности. Сигнальные цвета, знаки безопасности и сигнальную разметку применяют для привлечения внимания к опасности людей, находящихся на производстве. Маркировка опасных зон предупреждает об угрозе и сообщает, какие действия можно или нельзя производить [12–17].

Для минимизации рисков предложено внедрить на исследуемой буровой установке БУ 5000/320 ЭСК-БМЧ систему управления опасными зонами «Красные зоны» (англ.: *Red zone management*), предназначенную для снижения риска падения предметов, контакта с движущимися механизмами, воздействия высокого давления, химикатов и бурового раствора, а также для ограничения попадания сотрудников в опасные зоны с наиболее высоким уровнем риска получения травм и летальных исходов [18].

Для исследуемой буровой установки выявлены опасные зоны и проведена их классификация по одной из трех категорий: зеленая зона (безопасная зона), желтая зона (зона со средней степенью риска), красная зона (опасная зона) – с отметкой точек входа и выхода (рис. 2).

Точки доступа в желтые и красные зоны оборудованы барьерами, ограничивающими доступ сотрудников (цепочка, калитка, дверь и т. д.), а также информационными предупреждающими знаками, представленными на рис. 3.

Персонал буровых установок прошел обучение по нахождению в данных зонах, а также ознакомился с барьерами безопасности, которые ограждают персонал от проникновения в опасные зоны⁹. В красных зонах, огражденных барьерами безопасности, могут находиться

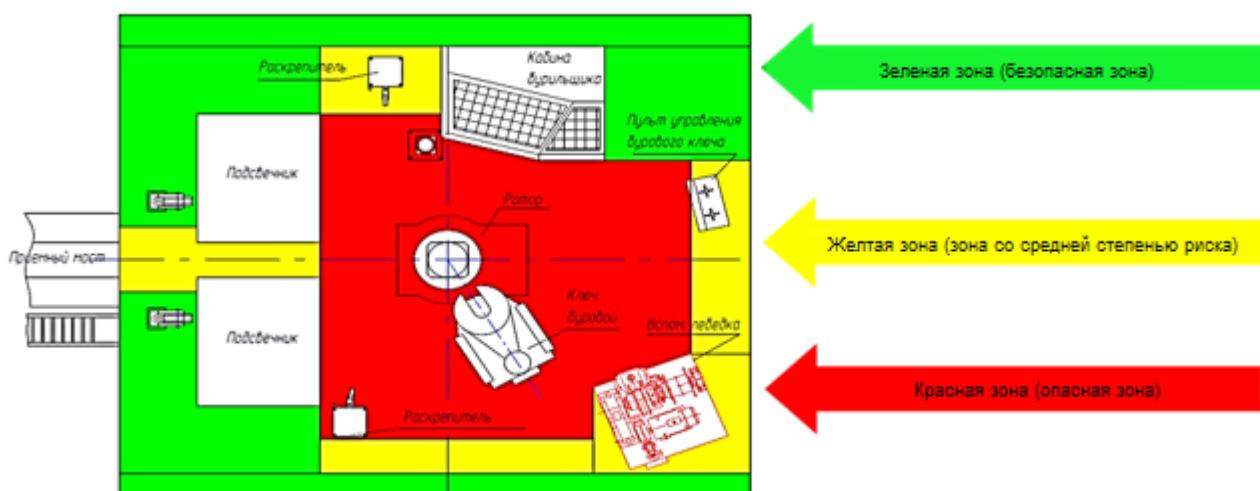


Рис. 2. Схема стола ротора исследуемой буровой установки
Fig. 2. Diagram of the rotor table of the drilling rig under study

⁹ Коршак А.А., Шаммазов А.М. Основы нефтегазового дела: учебник для вузов. Уфа: Дизайнполиграфсервис, 2005. 528 с.

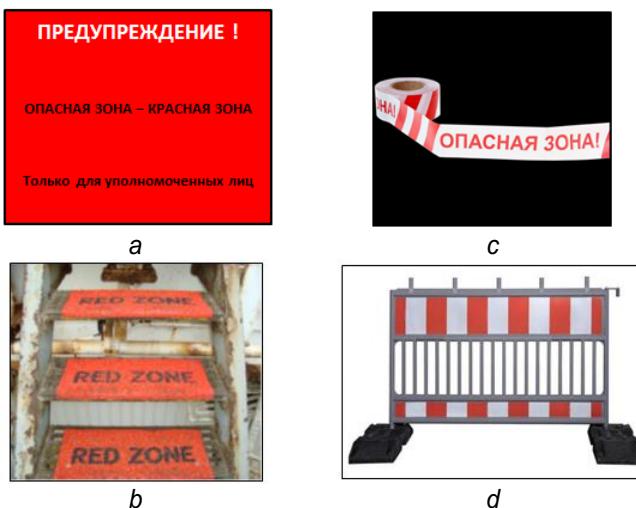


Рис. 3. Барьеры безопасности системы «Красные зоны»:
а – информационные предупреждающие знаки; б – маркировка;
с – ограждающая лента, цепочка; д – ограждающая калитка, дверь и т. д.

Fig. 3. Red Zone system safety barriers:
a – informational warning signs; b – marking;
c – barricade tape, chain; d – safety gate, door, etc.

только те работники, которые прошли обучение и имеют непосредственное разрешение на проведение работ в данной зоне. Результаты внедрения данного проекта представлены на рис. 4. К примеру, роторная площадка – место работ на буровой вышке, име-

ющее самый высокий риск опасности, – обозначена красным цветом. Пройти в данную зону могут только те сотрудники, которые имеют допуск и удостоверение о прохождении обучения по красным (опасным) зонам (рис. 5).

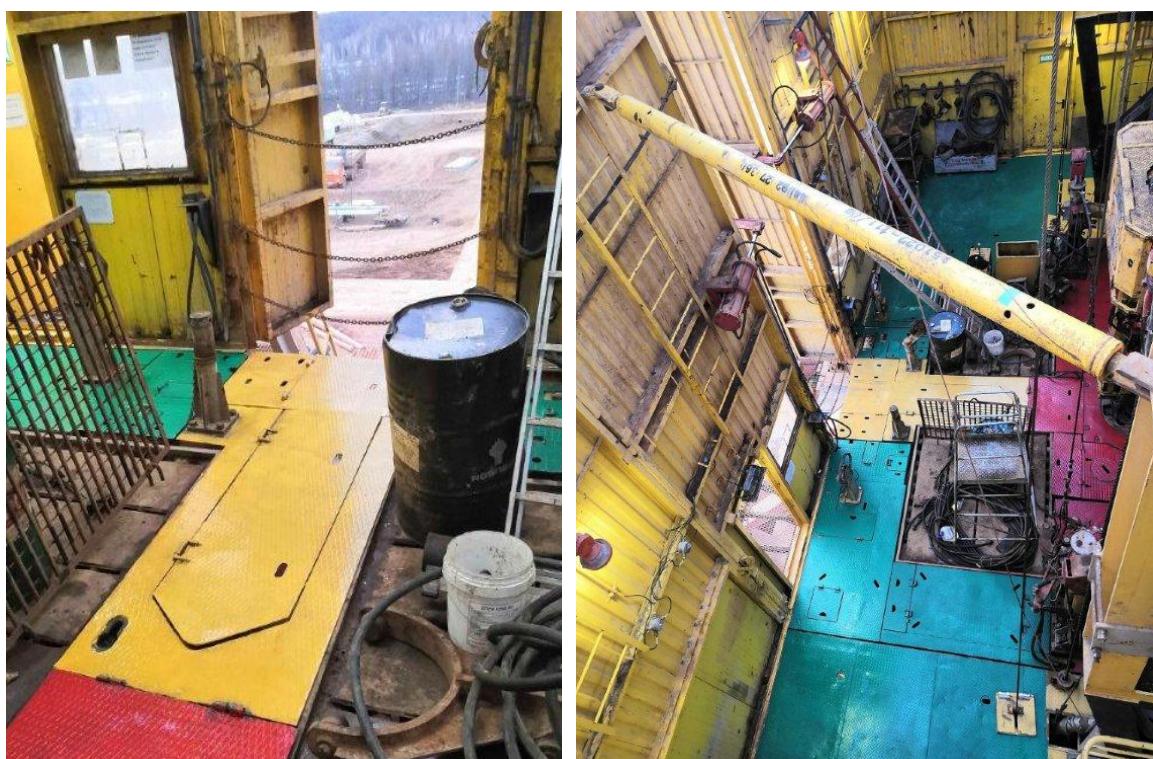


Рис. 4. Внедрение проекта «Красные зоны»
Fig. 4. Implementation of the Red Zone project



*Рис. 5. Роторная площадка после внедрения проекта
Fig. 5. Rotary platform after project implementation*

Внедрение технологии визуализации опасных зон позволило существенно уменьшить потенциальный риск травмирования персонала при выполнении работ. Такой опыт целесообразно распространить и на другие объекты нефтегазодобычи.

Заключение

Таким образом, при производстве работ на буровых установках нефтегазодобычи авторами данного исследования произведена

оценка профессиональных рисков, составлен реестр высокорисковых профессий и опасных зон технологических процессов. Установлено, что неприемлемыми являются негативные воздействия движущихся машин и механизмов, общая вибрация, шум, пониженные температуры воздуха (в зимний период времени). Для минимизации неприемлемых рисков предложено внедрение малозатратной технологии визуализации опасных зон на буровой установке.

Список литературы

1. Мартынов А.В. Применение риск-ориентированного подхода при осуществлении государственного контроля и надзора как необходимое условие снижения давления на бизнес // Юрист. 2016. № 18. С. 22–27.
2. Конторович А.Э., Бурштейн Л.М., Лившиц В.Р., Рыжкова С.В. Главные направления развития нефтяного комплекса России в первой половине XXI века // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 11. С. 1095–1104. <https://doi.org/10.31857/S0869-587389111095-1104>
3. Филимонова И.В., Немов В.Ю., Мищенин М.В., Проворная И.В. Нефтяная промышленность России: анализ итогов 2018 г. // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2019. № 4 (167). С. 52–62.
4. Филимонова И.В., Эдер Л.В., Немов В.Ю., Проворная И.В. Прогноз добычи нефти в регионах Восточной Сибири и Республике Саха (Якутия) // Бурение и нефть. 2019. № 7–8. С. 9–19.
5. Тимофеева С.С. Современные методы оценки профессиональных рисков и их значение в системе управления охраной труда // XXI век. Техносферная безопасность. 2016. № 1 (1). С. 14–23.
6. Соловьев А.В., Махнёва А.Н. Причинно-следственный анализ аварий и несчастных случаев на объектах нефтегазодобычи // Технологии нефти и газа. 2018. № 2 (215). С. 54–58.
7. Wang D., Jiang C., Dan Y. Design of air quality monitoring system based on the Internet of things // 10th International Conference on Software, Knowledge, Information Management & Application (SKIMA). Chengdu: IEEE, 2016. <https://doi.org/10.1109/SKIMA.2016.7916258>
8. Bock A., Svensson A., Kleiner A., Lundberg J., Ropinski T. A visualization-based analysis system for urban search & rescue mission planning support // Computer Graphics Forum. 2017. Vol. 36. Iss. 6. P. 148–159. <https://doi.org/10.1111/cgf.12869>
9. Bock A., Kleiner A., Lundberg J., Ropinski T. Supporting urban search & rescue mission planning through visualization-based analysis // Vision, Modeling,



and Visualization. 2014 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ida.liu.se/divisions/aiics/publications/VMV-2014-Supporting-Urban-Search.pdf> (14.09.2020).

10. Бухтияров И.В., Головкова Н.П., Чеботарев А.Г., Сальников А.А., Николаев С.П. Условия труда, профессиональная заболеваемость на предприятиях открытой добычи руд // Медицина труда и промышленная экология. 2017. № 5. С. 44–49.

11. Аверин В.А., Смехнева О.В., Машустина Э.М. Риск-ориентированная модель охраны труда в ОАО «Лебединский ГОК» // Медицина труда и промышленная экология. 2015. № 9. С. 16–17.

12. Тимофеева С.С., Мурзин М.А. Профессиональные риски горнодобывающих предприятий Байкальского региона // Безопасность в техносфере. 2014. Т. 3. № 3. С. 37–42. <https://doi.org/10.12737/4940>

13. Егорова Н. Три года без проверок... // Информационный бюллетень «Экспресс-бухгалтерия». 2015. № 29. С. 11–13.

14. Бабич М.Е. Риск-ориентированный подход при осуществлении государственного экологического надзора // Справочник эколога. 2017. № 11. С. 74–75.

15. Alyushin M.V., Kolobashkina L.V. Laboratory approbation of a new visualization form of hazardous objects control operator current psycho-emotional and functional state // Scientific Visualization. 2018. Vol. 10. Iss. 2. P. 70–83. <https://doi.org/10.26583/sv.10.2.06>

16. Владимиров А.И., Грайфер В.И. Новые образовательные программы подготовки и повышения квалификации специалистов для эффективного освоения месторождений углеводородов // Нефтяное хозяйство. 2006. № 5. С. 28–32.

17. Пархоменко А.К., Кульчицкий В.В., Щебетов А.В. Современные тенденции развития супервайзинга строительства и ремонта скважин // Нефть. Газ. Новации. 2017. № 11. С. 53–57.

18. Пархоменко А.К., Крайнова Э.А. Организационно-управленческий механизм взаимодействия нефтегазодобывающих и сервисных предприятий на этапе эксплуатации нефтяных скважин // Экономика и предпринимательство. 2017. № 9-1. С. 899–904.

References

1. Martynov AV. Application of a risk-oriented approach while exercising state control and supervision, as necessary condition for reduction of pressure on business. *Jurist.* 2016;18:22–27. (In Russ.)
2. Kontorovich AE, Burshtein LM, Livshits VR, Ryzhkova SV. Main directions in the development of Russia's oil sector in the first half of the XXI century. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk.* 2019;89(11):1095–1104. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869-587389111095-1104>
3. Filimonova IV, Nemov VYu, Mishenin MV, Provornaya IV. Russia's oil industry. Overview of the results of 2018. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie = Mineral Resources of Russia. Economics & Management.* 2019;4:52–62. (In Russ.)
4. Filimonova IV, Eder LV, Nemov VYu, Provornaya IV. Forecast of oil production in the regions of Eastern Siberia and the Republic of Sakha (Yakutia). *Burenie i neft'.* 2019;7–8:9–19. (In Russ.)
5. Timofeeva SS. Modern professional risk assessment methods and their role in labor protection management system. *XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost' = Technosphere Safety. XXI Century.* 2016;1:14–23. (In Russ.)
6. Solodovnikov AV, Makhneva AN. A causal analysis of accidents on oil and gas production facilities. *Tekhnologii nefti i gaza.* 2018;2:54–58. (In Russ.)
7. Wang D, Jiang C, Dan Y. Design of air quality monitoring system based on the Internet of things. In: *10th International Conference on Software, Knowledge, Information Management & Application (SKIMA).* Chengdu: IEEE; 2016. <https://doi.org/10.1109/SKIMA.2016.7916258>
8. Bock A, Svensson A, Kleiner A, Lundberg J, Ropinski T. A visualization-based analysis system for urban search & rescue mission planning support. *Computer Graphics Forum.* 2017;36(6):148–159. <https://doi.org/10.1111/cgf.12869>
9. Bock A, Kleiner A, Lundberg J, Ropinski T. Supporting urban search & rescue mission planning through visualization-based analysis. *Vision, Modeling, and Visualization.* Available from: <https://www.ida.liu.se/divisions/aiics/publications/VMV-2014-Supporting-Urban-Search.pdf> [Accessed 14th September 2020].
10. Bukhtiyarov IV, Golovkova NP, Chebotarev AG, Salnikov AA. Work conditions, occupational morbidity on open-cast ores extraction enterprises. *Meditina truda i promyshlennaya ekologiya = Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology.* 2017;5:44–49. (In Russ.)
11. Averin VA, Smekhneva OV, Mishustina EM. Risks oriented occupational safety model in “Lebedinsky GOK”. *Meditina truda i promyshlennaya ekologiya = Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology.* 2015;9:16–17. (In Russ.)
12. Timofeeva SS, Murzin MA. Professional risks of mining industry in the Baikal region. *Bezopasnost' v tekhnosfere = Safety in Technosphere.* 2014;3(3):37–42. (In Russ.) <https://doi.org/10.12737/4940>
13. Egorova N. Three inspection-free years... *Informatsionnyi byulleten' "Ekspress-bukhgalteriya".* 2015;29:11–13. (In Russ.)
14. Babich ME. Risk-oriented approach in the implementation of state environmental supervision. *Spravochnik ekologa.* 2017;11:74–75. (In Russ.)
15. Alyushin MV, Kolobashkina LV. Laboratory approbation of a new visualization form of hazardous objects control operator current psycho-emotional and functional state. *Scientific Visualization.* 2018;10(2):70–83. <https://doi.org/10.26583/sv.10.2.06>
16. Vladimirov A.I., Graifer V.I. New educational programs for training and advanced training of specialists for effective development of hydrocarbon deposits. *Neftyanoe khozyaistvo.* 2006;5:28–32. (In Russ.)



17. Parkhomenko AK, Kulchitskiy VV, Schebetov AV. Present day tendencies in well construction and work-over supervising development. *Neft'. Gaz. Novatsii*. 2017;11:53–57. (In Russ.)
18. Parkhomenko AK, Krainova EA. Organizational

and management mechanism of interaction oil exploration and production companies and service companies in the stage of oil wells exploitation. *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Journal of Economy and Entrepreneurship*. 2017;9-1:899–904. (In Russ.)

Сведения об авторах / Information about the authors



Тимофеева Светлана Семеновна,
доктор технических наук, профессор,
заведующая кафедрой промышленной экологии
и безопасности жизнедеятельности,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉ e-mail: timofeeva@istu.edu

Svetlana S. Timofeeva,
Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Head of the Department of Industrial Ecology and Life Safety,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉ e-mail: timofeeva@istu.edu



Попова Надежда Александровна,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: russiacova95@mail.ru

Nadezhda A. Popova
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: russiacova95@mail.ru

Заявленный вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
The authors contributed equally to this article.

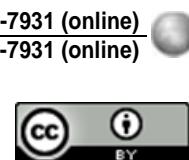
Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 15.09.2020; одобрена после рецензирования 19.10.2020; принятa к публикации 20.11.2020.
The article was submitted 15.09.2020; approved after reviewing 19.10.2020; accepted for publication 20.11.2020.



Оригинальная статья / Original article

УДК 551.242

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-4-486-498>

Clockwise rotation of the Tarim basin driven by the Indian plate impact. Part II*

© Junmeng Zhao^a^a*Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China*

Abstract: In the previous article**, data were given on the clockwise rotation of the Tarim Basin at a speed of 0.461° per million years around a virtual axis within the structure. Additional fieldwork and new evidence confirm earlier findings about the asymmetry of the Indo-Asian collision zone. These data are additional arguments in favor of the rotation of the Tarim Basin and lithospheric interactions along the Tarim boundaries. Conclusions are based on detailed geological and geo-physical data.

Keywords: Tarim Basin, block rotation, Indian plate, Eurasian plate, continental collision, paleoenvironment, westerly moisture pathway

For citation: Zhao Junmeng. Clockwise rotation of the Tarim basin driven by the Indian plate impact. Part II. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2020;43(4):486–498. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-4-486-498>

Вращение Таримского бассейна по часовой стрелке под влиянием движения Индийской плиты. Часть II*

© Цзюньмэн Чжао^a^a*Институт изучения Тибетского плато, Китайская академия наук, г. Пекин, Китай*

Резюме: В предыдущей статье** были приведены данные о вращении Таримского бассейна по часовой стрелке со скоростью 0,461° в миллион лет вокруг виртуальной оси внутри структуры. Дополнительные полевые исследования и новые фактические данные подтверждают сделанные ранее выводы об асимметрии зоны Индо-Азиатского столкновения. Эти данные являются дополнительными аргументами в пользу вращения Таримского бассейна и литосферных взаимодействий вдоль границ Тарима. Выводы базируются на детальных геолого-геофизических данных.

Ключевые слова: Таримский бассейн, вращающиеся блоки, Индийская плита, Евразийская плита, континентальная коллизия, палеогеография, западный водный канал

Для цитирования: Чжао Цзюньмэн. Вращение Таримского бассейна по часовой стрелке под влиянием движения Индийской плиты. Часть II. *Науки о Земле и недропользование*. 2020. Т. 43. № 4. С. 486–498. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-4-486-498>

* The article was provided by the Earth Science Frontiers journal within the framework of the agreement between the editorial boards of Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russia) and China University of Geosciences (Beijing, China) on the exchange of open access scientific papers.

* Статья была предоставлена редакцией журнала Earth Science Frontiers в рамках соглашения между редакциями Иркутского национального исследовательского технического университета (г. Иркутск, Россия) и Китайского геологического университета (г. Пекин, Китай) об обмене научными статьями открытого доступа.

** This is the continuation of the article: Zhao Junmeng, Zhang Peizhen, Yuan Xiaohui, Gan Weijun, Sun Jimin, Deng Tao, et al. Clockwise rotation of the Tarim basin driven by the Indian plate impact. *Earth sciences and subsoil use*. 2019;42(4):425–436. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2019-42-4-425-436>

** Данная статья является продолжением статьи: Чжао Цзюньмэн, Чжан Пэйчжэнь, Юань Сяохуй, Гань Вэйцзюнь, Сунь Цзиминь, Дэн Тао [и др.]. Вращение Таримского бассейна по часовой стрелке под влиянием движения Индийской плиты. *Науки о Земле и недропользование*. 2019. Т. 42. № 4. С. 425–436. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2019-42-4-425-436>



Four profiles crossing Tarim basin and its surrounding mountains

The outcome of the paper is based mainly on four seismic profiles traversing diverse parts of the boundary zones of the Tarim Basin, that is, the XB Line in the north, the KJ Line in the northeast, the BD Line in the east, and the ANTILOPE-I line in the south. The locations of the profiles are shown in Fig. S1 and Fig. 1***. Results of the XB, BD, and ANTILOPE-I lines are published in Zhao

et al. [1–3]. The KJ line is the most recent profile. Compared with previous profiles, the new data from the KJ line revealed a complex lithospheric configuration of the Tarim Basin boundaries, which motivated further examination of the plate kinematics and the (clockwise) rotation of the basin. Here we briefly summarize the relevant results of the four profiles, which are closely related to the topic of the present paper.

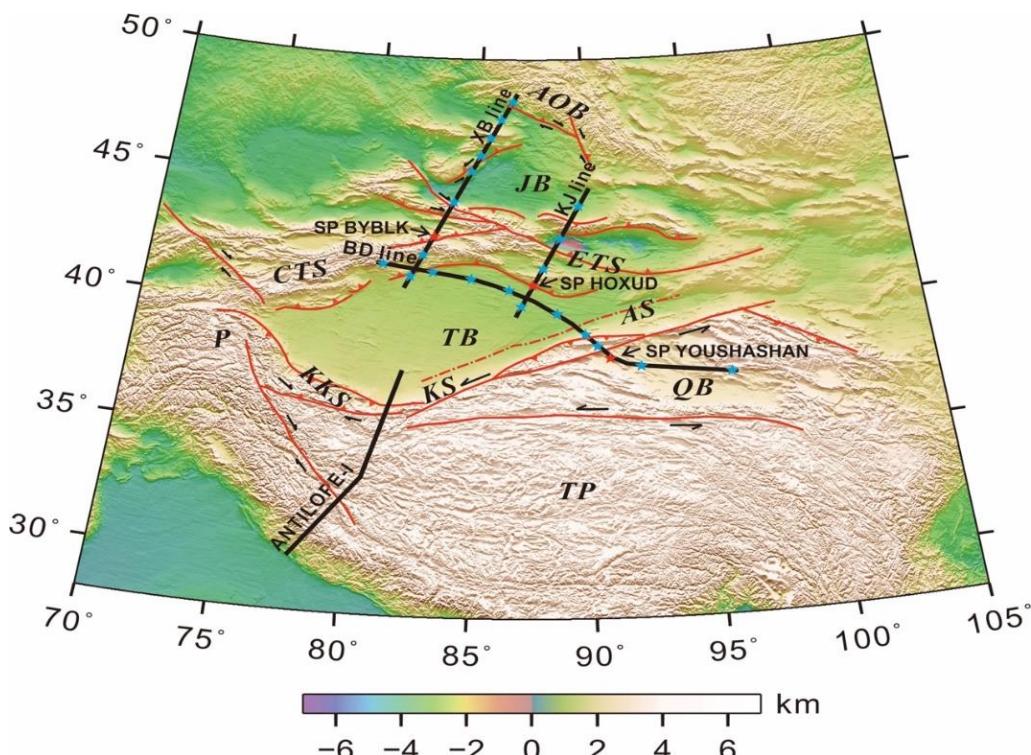


Fig. S1. Map of profile locations

Black lines denote the profile locations. Red lines indicate faults. Stars along each profile stand for the shot points, with the red one showing the relation between the Tarim basin and its surrounding mountains by seismic records, traveling time fitting, amplitude fitting and ray tracing

TP – Tibetan Plateau; TB – Tarim Basin; QB – Qaidam Basin; JB – Junggar Basin; AOB – Altai Orogenic Belt; CTS – Central Tien Shan; ETS – Eastern Tien Shan; AS – Altyn Tagh Shan; KS – Kunlun Shan; KKS – Karakorum Shan

Рис. S1. Карта расположения профилей

Черными линиями обозначено расположение профилей. Красные линии указывают на разломы. Голубые звездочки вдоль каждого профиля обозначают очаги сейсмического взрыва, красные звездочки демонстрируют связь между Таримским бассейном и окружающими его горами с помощью сейсмограмм, построения кривых времени пробега, амплитуды и трассировки лучей

TP – Тибетское плато; TB – Таримский бассейн; QB – бассейн Кайдам; JB – Джунгарский бассейн; АOB – Алтайский орогенный пояс; CTS – Центральный Тянь-Шань; ETS – Восточный Тянь-Шань; AS – Алтынташ (Алтыншань); KS – Куньлунь; KKS – Каракорум

*** The authors invite to compare the illustrative material in this article with the figures from the previous article "Clockwise rotation of the Tarim basin driven by the Indian plate impact". The differentiation of the illustrative material of this article under figure numbering is performed using additional literals.

*** Авторы предлагают сравнить иллюстративный материал в данной статье с рисунками из предыдущей статьи «Вращение Таримского бассейна по часовой стрелке под влиянием движения Индийской плиты». Для возможности различения иллюстративного материала при нумерации рисунков в этой статье были дополнительно использованы литеры.

XB line. From the northern margin of the Tarim Basin (TB) ($82^{\circ}52'28"E$, $41^{\circ}02'34"N$) to the southern foot hills of the Altay Orogenic Belt (AOB) ($86^{\circ}46'19.2"E$, $48^{\circ}56'00"N$), the XB Line is 995 km long and crosses northern part of the Tarim Basin, the Tien Shan Orogenic Belt, the Junggar Basin (JB), and the Altai Orogenic Belt (Fig. 1 and Fig. S1). During the original study, Zhao et al. [1] obtained a 2D velocity structure by seismic reflection / refraction profiling, a 2D density structure from modeling gravity data, the detailed structure of the crust-mantle transitional zone using wavelet transforms of the deep seismic sounding (DSS) data, and a 2D electrical resistivity structure using magnetotelluric (MT) sounding. They also studied focal mechanisms and tectonic processes. With this comprehensive set of geological and geophysical data, a geodynamic model was obtained for this region ([1], also shown in Fig. S2). The results suggest that the Tarim Basin subducts northward beneath the

Tien Shan orogenic belt, while the Junggar Basin contacts the Tien Shan in a pattern of strike-slip mode (Fig. 2, a and Fig. S2).

Evidence for the northward subduction of the Tarim Basin beneath the Tien Shan orogenic belt can be seen in detail with an example of a shot gather (shot point SP Byblk, located at 218.217 km along the profile). Two Moho reflection phases can be clearly observed (Fig. S3, a) and modeled (Fig. S3, b–d). The upper one is the Moho of the Tien Shan Orogenic Belt, and the lower one is the Moho of the Tarim Basin.

KJ Line. Recently, we have conducted a comprehensive geophysical profile from Korla to Jim-sar (KJ line). From the northern margin of the Tarim basin ($82^{\circ}52'28"E$, $41^{\circ}02'34"N$) to the southern margin of the Junggar basin ($86^{\circ}46'19.2"E$, $48^{\circ}56'00"N$), the profile is 600 km long and crosses the northern margin of the Tarim basin, the Tien Shan, and the southern margin of the Junggar basin (Fig. S1).

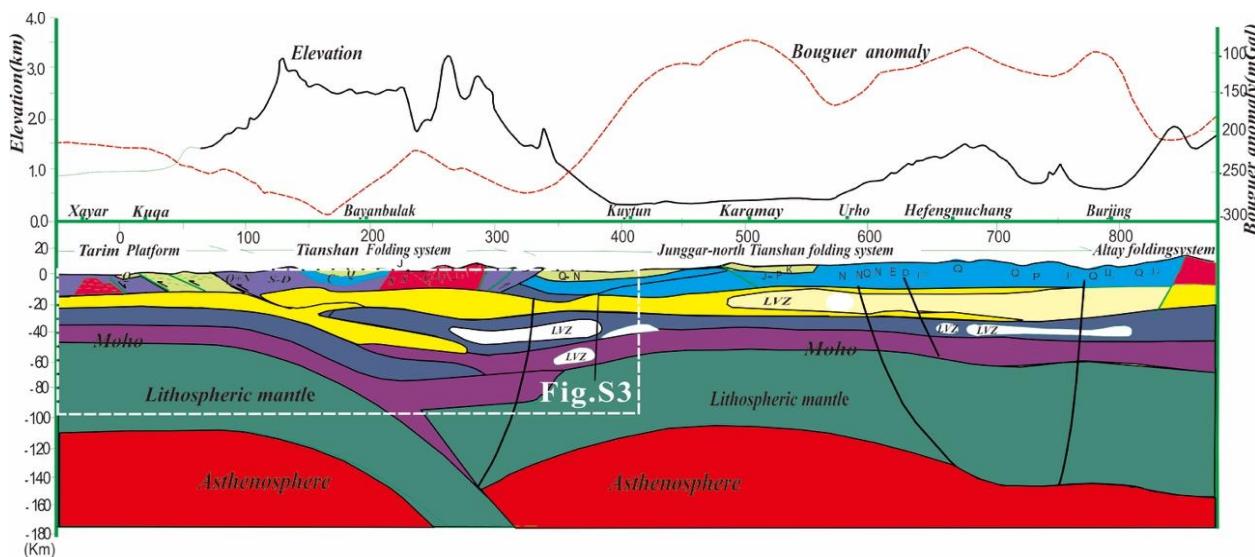


Fig. S2. Structure of the crust and mantle lithosphere along the XB line

The upper panel shows the elevation (solid line) and Bouguer anomaly (dotted line). The lower panel shows the lithospheric structures. The box and the star mark the location of the seismic section and the shot point shown in Fig. S3. LVZs represent low velocity zones. The solid lines are interfaces determined by deep seismic sounding, MT sounding and gravitational inversion. The dashed lines are inferred interfaces. Lines of high angles are faults determined by seismic sounding, MT sounding and gravitational analyses. The complicated crust-mantle transitional zone beneath the Tien Shan orogenic belt is determined by using wavelet transform [1]

Рис. S2. Строение земной коры и литосферной мантии по линии XB

В верхней части рисунка представлено поднятие (сплошная линия) и аномалия Буге (пунктирная линия).

Нижняя часть рисунка демонстрирует литосферные структуры. Рамкой и звездочкой отмечено местоположение сейсмического разреза и очага сейсмического взрыва, показанного на рис. S3.

LVZ – это зоны низких скоростей. Сплошными линиями отмечены границы раздела, которые определены глубинным сейсмическим зондированием, магнитотеллурическим зондированием и гравитационной инверсией. Пунктирными линиями обозначены предполагаемые границы. Крутоналоненные линии обозначают разломы, определенные сейсморазведкой, магнитотеллурическим зондированием и гравитационным анализом. Сложная переходная зона коры в мантию, расположенная под орогенным поясом Тянь-Шаня, определена с помощью вейвлет-преобразования [1]

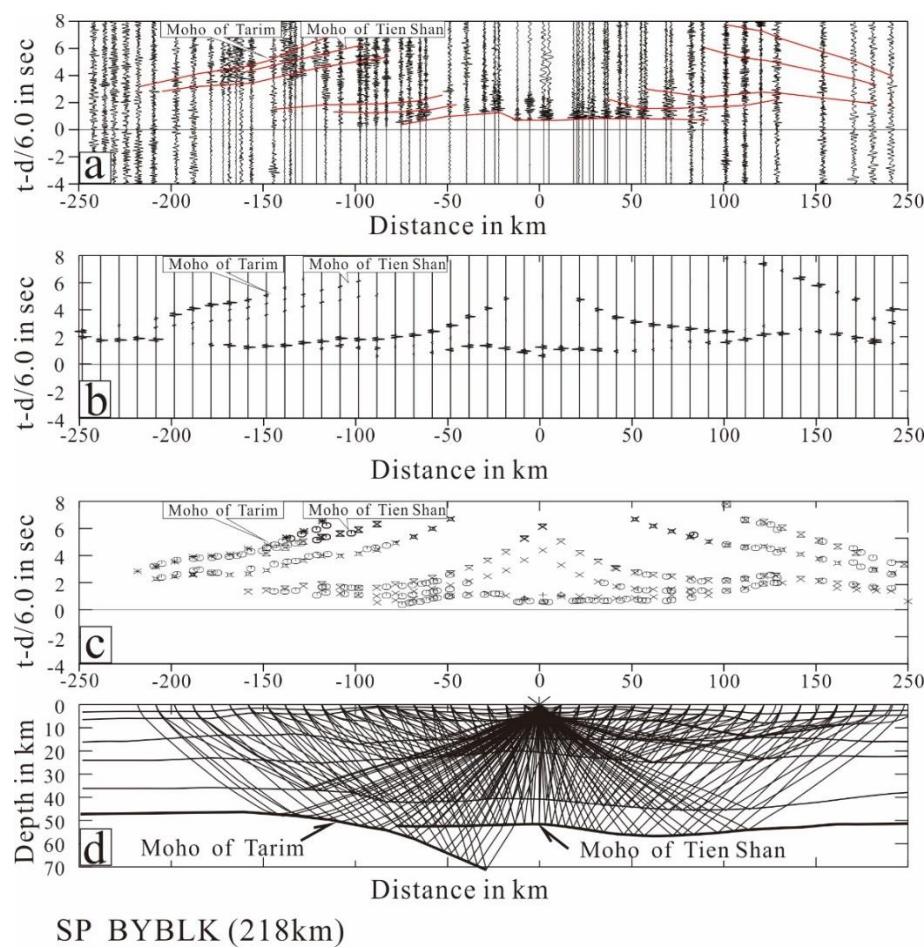


Fig. S3. Data and modeling example for SP Byblk:

a – Seismic records of SP Byblk: The shot point (at 0 km) is located in the southern part of the Tien Shan orogenic belt (see Fig. S2 for the SP location) and the receivers are set up in the northern margin of the Tarim basin, the Tien Shan orogenic belt and the southern margin of the Junggar basin. All recorded seismic signals came from the same shot point at the same moment. The horizontal axis indicates offset distance from the shot point. The vertical axis indicates travel time reduced by 6 km/s. A 1–20 Hz bandpass filter and automatic gain control with 2-s window were applied. The thick solid lines show the identified effective seismic phases. The thin horizontal straight line at time of 0 s is a reference line.

Travel times of all observed phases constitute the input data for ray tracing and synthetic seismogram

b – Calculated theoretical amplitude: The vertical axis indicates travel time reduced by 6 km/s

c – Travel time fitting: The vertical axis indicates travel time measured (marked with \odot) and calculated (crosses), reduced by 6 km/s

d – Ray tracing: The vertical axis indicates depth in km. The thick lines are interfaces determined by modeling of the seismic phases. The distance axis is referenced to the shot point in (a) and to the entire XB line in (b–d)

Рис. S3. Данные и пример моделирования очага сейсмического взрыва Быблк:

а – сейсмограммы очага сейсмического взрыва Быблк. Точка взрыва (0 км) расположена в южной части орогенного пояса Тянь-Шаня (местоположение очага сейсмического взрыва см. на рис. S2), сейсмоприемники расположены по северному краю Таримского бассейна, орогенного пояса Тянь-Шаня и южной окраине Джунгарского бассейна. Все зарегистрированные сейсмические сигналы пришли из одного и того же очага сейсмического взрыва в один и тот же момент. Горизонтальная ось показывает расстояние между очагом сейсмического взрыва и приемником. Вертикальная ось показывает скорость распространения, уменьшенную на 6 км/с. Были применены пропускающий полосовой фильтр 1–20 Гц и автоматическая регулировка усиления амплитуд с двухсекундным окном. Жирные сплошные линии обозначают выявленные действующие сейсмические фазы. Тонкая прямая горизонтальная линия в момент 0 с является исходной линией отсчета. Время пробега всех наблюдаемых фаз является исходными данными для трассировки лучей и синтетической сейсмограммы

б – расчетная теоретическая амплитуда. Вертикальная ось показывает время пробега, уменьшенное на 6 км/с

в – построение кривых времени пробега. Вертикальная ось показывает измеренное время

пробега (\odot) и расчетное время пробега (отмечено крестиками), уменьшенное на 6 км/с

г – трассировка лучей. Вертикальная ось показывает глубину в километрах. Жирные линии обозначают границы, определенные моделированием сейсмических фаз. Ось расстояния привязана к очагу взрыва на графике (а) и ко всей линии XB на графиках (б–д)

We obtained a 2D velocity structure from seismic reflection / refraction profiling, a 2D density structure and 2D geomagnetic intensity structure from joint inversion of the gravity anomaly with the geomagnetic anomaly. In contrast with the XB line, no evidence of crustal underthrusting can be found along the KJ line beneath the northern margin of the Tarim basin. In contrast, the results suggest that the Tarim Basin moves away from the Tien Shan Orogenic belt, and the Junggar Basin subducts southward beneath the Tien Shan orogenic belt, as shown in Fig. 2, *b* and Fig. S4.

The spatial separation of Tarim Basin and the Tien Shan orogenic belt can be seen in detail in Fig. S5. The shot point SP Hoxud is located at 177 km. Modeling seismic records shows that

there exists a gap and dislocation between the Tarim Moho and Tien Shan Moho, implying that the Tarim Basin is moving from the Tien Shan, leaving a lateral gap between the two Mohos.

BD Line. Here we present the results of a 1420-km-long seismic refraction / wide-angle-reflection profile (BD Line) that crosses from NW to SE the northern margin of the Tarim basin, the east central Tarim basin, the Altyn Tagh Range, and the northern Qaidam basin (Fig. 1). The 2D velocity structure along the BD Line as shown in Fig. S6 was obtained from the modeling of the seismic data as mentioned above. The results indicate that the Tarim Basin has subducted beneath the Altyn Tagh Range, as shown in Fig. 2, *c* and Fig. S7 for detail.

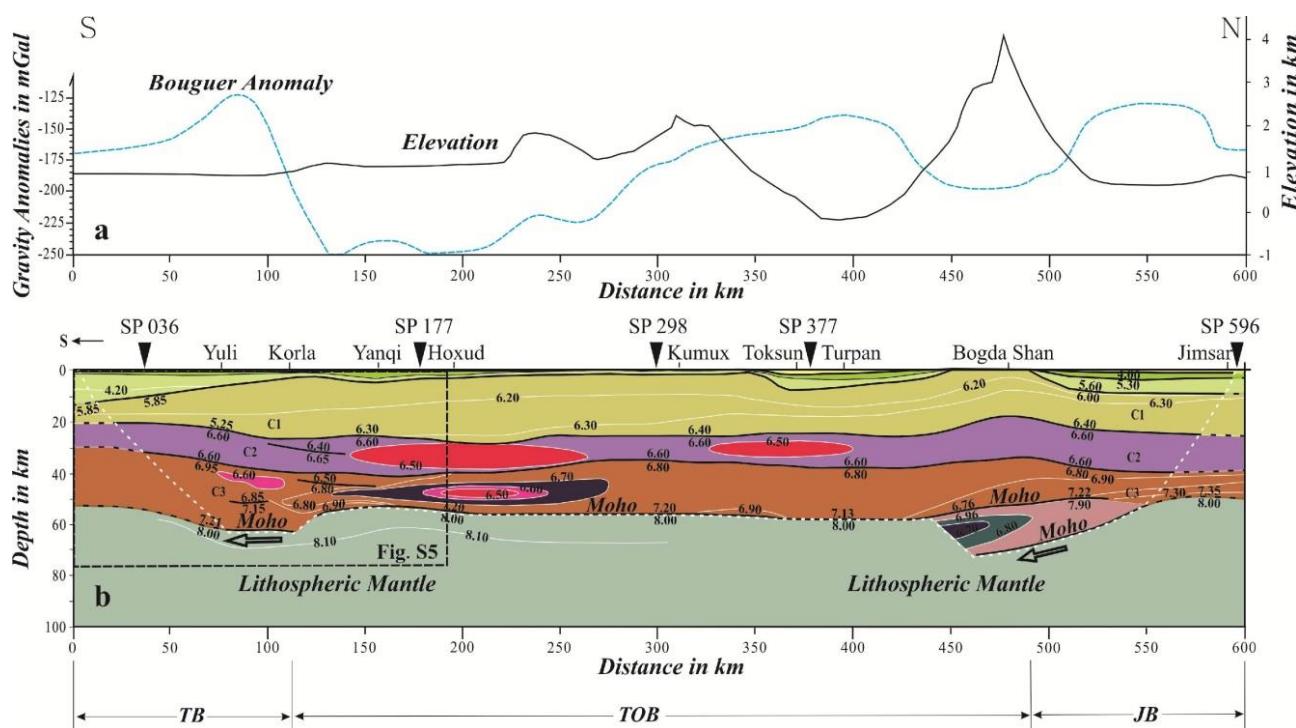


Fig. S4. Crustal structure along KJ line:

a – Elevation (black solid line) and Bouguer anomaly (blue dotted line) along the KJ line

b – Lithospheric structure and geodynamic model. Solid lines are interfaces determined by deep seismic sounding and joint inversion of gravity and geomagnetism. Vertical triangles at surface denote shots. Arrows below the Moho indicate Moho movement direction. The thin dotted lines are velocity contours

TB – Tarim Basin; TOB – Tien Shan Orogenic Belt; JB – Junggar Basin

The box and the star mark the location of the seismic section and the shot point, respectively, shown in Fig. S5

Рис. S4. Строение земной коры по линии Корла–Джимсар (KJ):

a – поднятие (черная сплошная линия) и аномалия Буге (синяя пунктирная линия) по линии KJ

b – строение литосфера и геодинамическая модель. Сплошные линии обозначают границы, определенные глубинным сейсмическим зондированием и совместной инверсией силы тяжести и геомагнетизма.

Вертикальные треугольники на поверхности обозначают очаги сейсмических взрывов. Стрелки под Мохом (Moho) указывают направление движения Мохо. Тонкими пунктирными линиями обозначены изолинии скорости

TB – Таримский бассейн; TOB – орогенный пояс Тянь-Шаня; JB – Джуңгарский бассейн

Рамочка и звездочка обозначают соответственно местоположение сейсмического профиля и очага взрыва, показанных на рис. S5

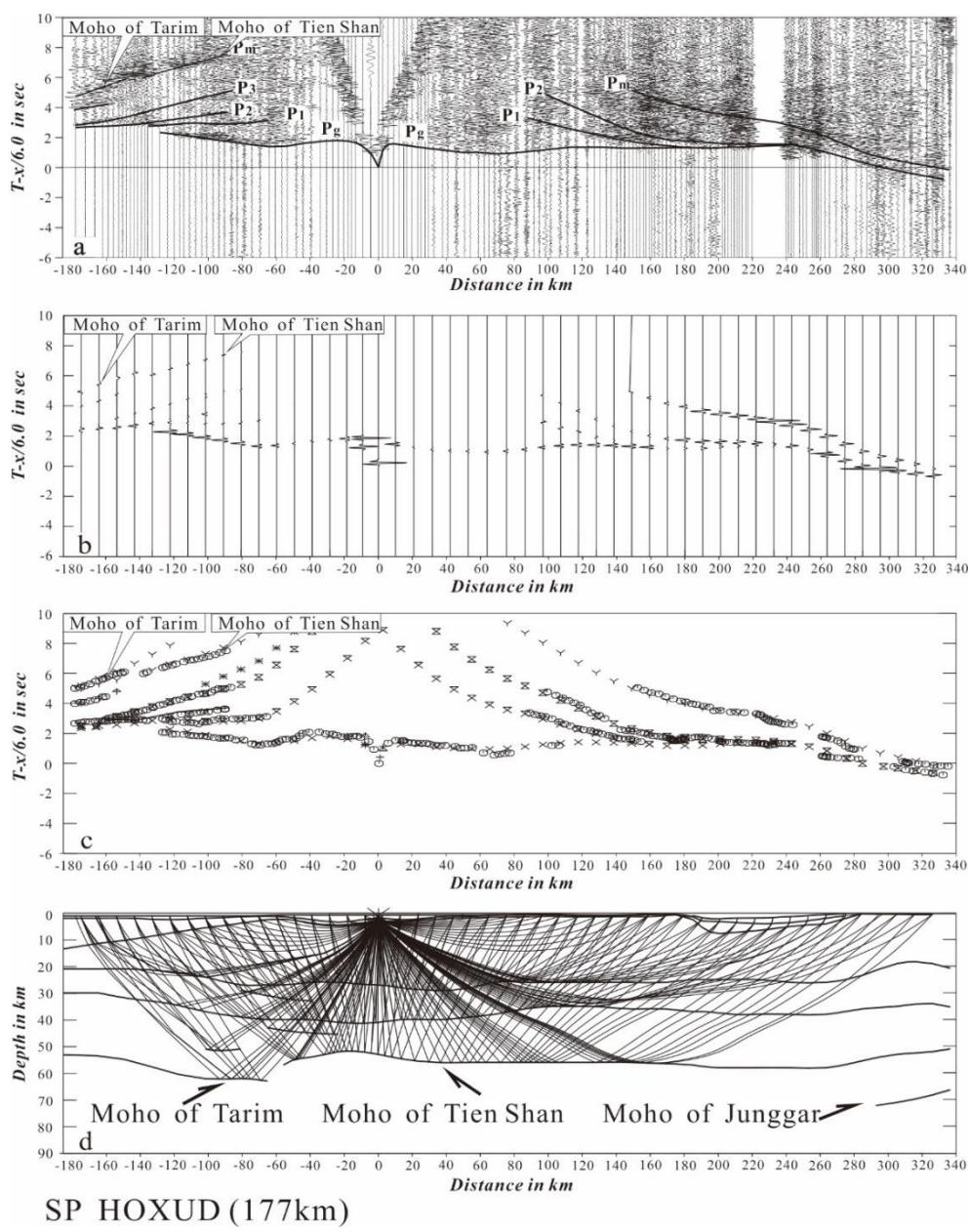


Fig. S5. Data and modeling example for SP Hoxud

The shot point (at 0 km) is located in the southern part of the Tien Shan orogenic belt and the receivers are set up in the northern margin of the Tarim basin, the Tien Shan orogenic belt and the southern margin of the Junggar basin.

Locations of the shot and the seismic section are indicated in Fig. S4. The horizontal axis indicates offset distance from the shot point. Presentation (panels a-d) is the same as described in Fig. S3

Рис. S5. Данные и пример моделирования очага сейсмического взрыва Хоксуд

Очаг сейсмического взрыва (0 км) расположен в южной части орогенного пояса Тянь-Шаня, приемники установлены по северному краю Таримского бассейна, в орогенном поясе Тянь-Шаня и на южной окраине Джунгарского бассейна. Расположение очага взрыва и сейсмического профиля показано на рис. S4.

Горизонтальная ось показывает расстояние между очагом сейсмического взрыва и приемником.

Описание графиков (а-д) такое же, как для рис. S3

ANTILOPE-I. The ANTILOPE-I profile is a broadband passive-source seismic array traversing western Tibet and southern Tarim Basin. It consisted of about 80 stations, operated from October 2006 to November 2007. During one year operation time, 478 teleseismic earthquakes

of high signal / noise ratio were recorded and used for receiver function analysis [3]. A total number of 3476 S receiver functions (including SKS receiver functions from 249 events at epicentral distances of 60–115°).

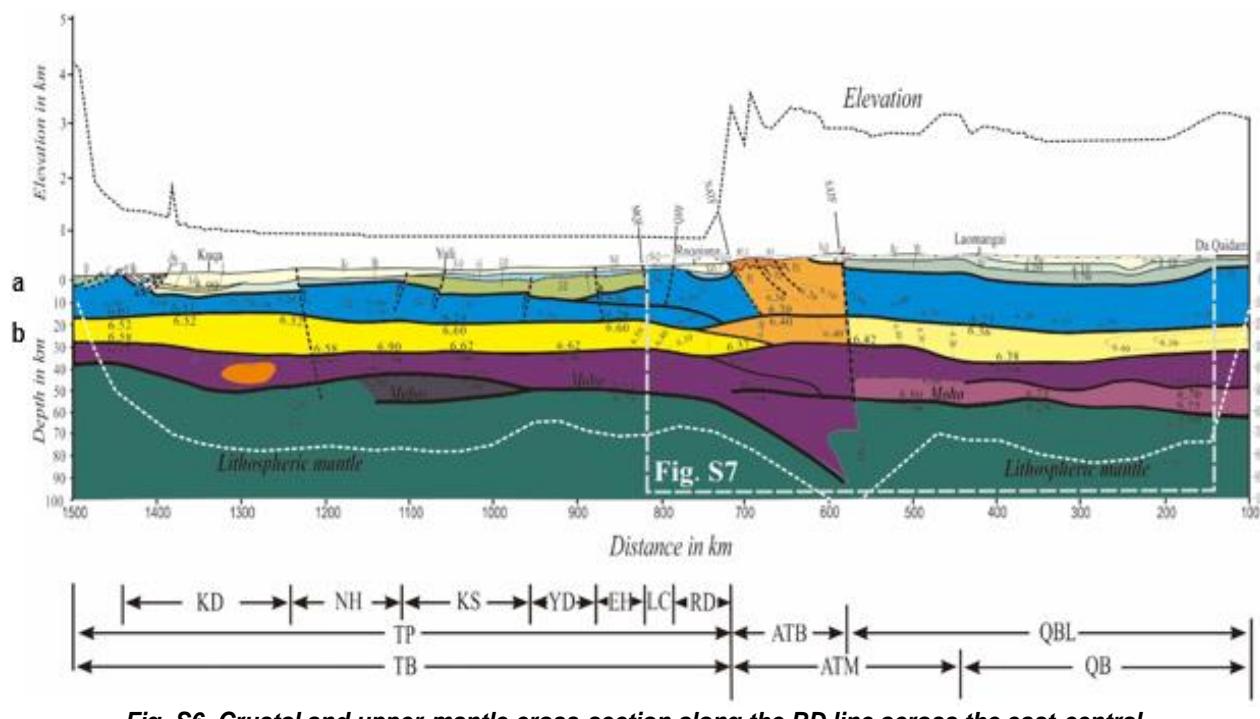


Fig. S6. Crustal and upper-mantle cross-section along the BD line across the east-central Tarim basin, Altyn Tagh Range and Qaidam basin [2]:

a – Tectonic setting and topography;

b – Crustal structure derived from the seismic velocity structure using laboratory measurements of seismic velocities for a wide suite of rock types

The box marks the location of the seismic section shown in Fig. S5. The respective shot point is highlighted

Рис. S6. Разрез земной коры и верхней части мантии по линии BD в восточно-центральной части Таримского бассейна, горного хребта Алтын Таг и Кайдамского бассейна [2]:

a – тектоническая обстановка и топография;

b – структура земной коры, полученная из структуры сейсмической скорости, определенной в результате лабораторных измерений сейсмических скоростей широкого спектра типов горных пород

Рамкой отмечено местоположение сейсмического профиля, показанного на рис. S5.

Соответствующий очаг сейсмического взрыва выделен

In the S receiver function image (Fig. S8), the Moho can be identified along the profile A Moho step can be observed beneath the border from the Tibetan plateau to the Tarim Basin. No evidence of crustal underthrusting can be identified.

GPS Data and strategy

The main part (~55 %) of GPS velocities are from the published solutions of two Chinese national scientific projects, Crustal Movement Observation Network of China (CMONOC-I) and Tectonic and Environmental Observation Network of Mainland China (CMONOC-II) [4]. The detailed GPS observation methods and data processing strategies were introduced by Li et al. [4]. In addition to the GPS velocity data set of 240 stations from CMONOC (around the Tarim Basin but within the territory of China), we merged another published GPS velocity data set of 202 stations (around the western Tarim Basin) from

Zubovich et al. [5] to enhance the density and coverage of GPS stations.

Although the CMONOC velocities and those of another data set are given in Eurasia-fixed reference frames, their frames may differ slightly from each other. As these two data sets shared some stations with the CMONOC data set, we used stations common to the CMONOC data set as “links” to transform all the other velocities into the same reference frame as that for CMONOC by using rigid-body rotations with appropriate angular velocity (Euler vector). After the reference frame transformations, the maximum differences of north and east components of the velocities for the same stations in different data sets are 2.6 and 2.2 mm/yr, respectively; these values are within 2 standard deviations of the velocity components. The final velocities of the common stations are the weighted average of the values from all the data sets in the same Eurasia-fixed

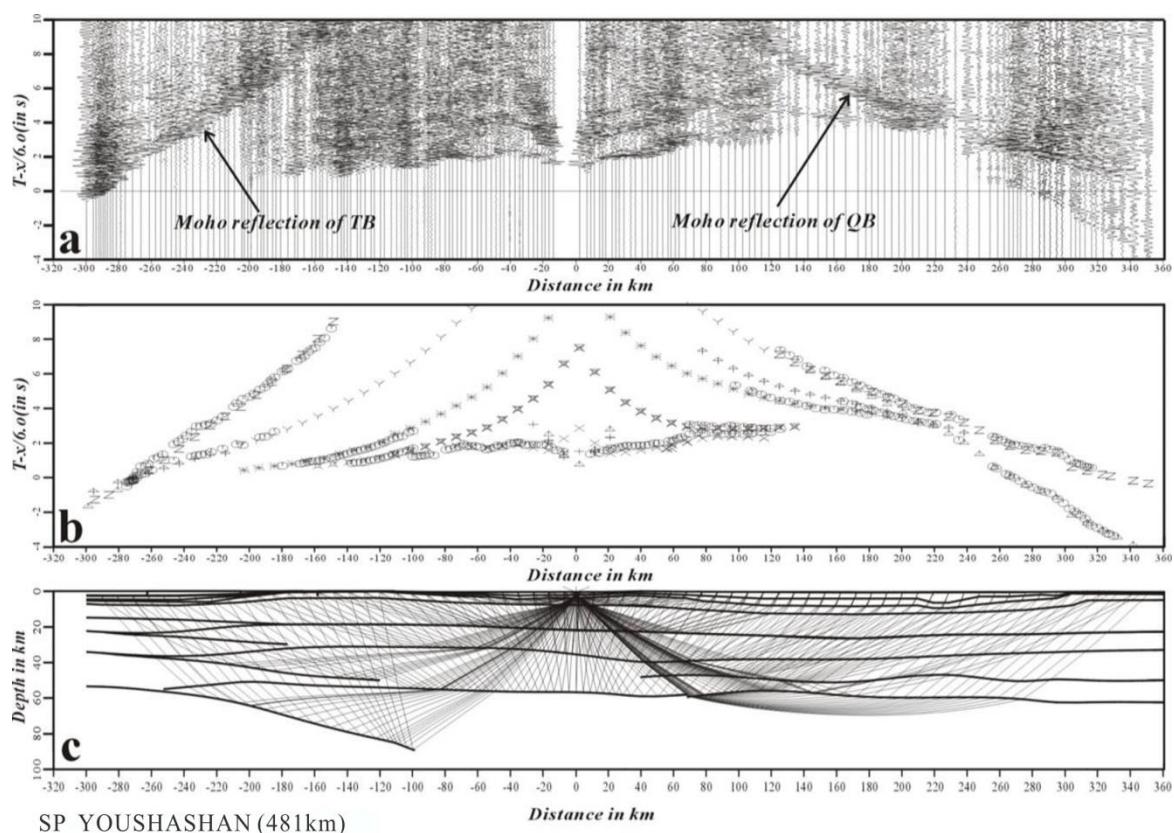


Fig. S7. Data and modeling example for shot point 8 (Youhashan)

The shot point (at 0 km) is located south of the Altyn Tagh fault in the Qaidam basin (see Fig. S6 for the SP location).

The receivers were located in the Tarim basin, Altyn Tagh Range, and Qaidam basin.

The horizontal axis indicates offset distance from the shot point

ATR – Altyn Tagh Range; QB – Qaidam Basin [2]

Рис. S7. Данные и пример моделирования точки 8 сейсмического взрыва (Юшашань)

Очаг взрыва (в 0 км) расположен к югу от разлома Алтын Таг в Кайдамском бассейне

(см. местоположение очага взрыва на рис. S6). Приемники расположены

в Таримском бассейне, горном хребте Алтын Таг и Кайдамском бассейне.

Горизонтальная ось показывает расстояние между очагом сейсмического взрыва и приемником

ATR – горный хребет Алтын Таг; QB – Кайдамский бассейн [2]

reference frame. The combined velocities of 442 GPS stations in a Eurasia-fixed reference frame demonstrate the western Tarim regions are dominated by N-S direction while eastern Tarim moves toward the NE (Fig. 3, a).

In order to highlight the relative motion of Tarim Basin with respect of its surroundings, we used the following strategy to transform the GPS velocity field into a special “Tarim surrounding vicinity fixed reference frame”. Firstly, we solved for the angular velocity of rigid-body rotation on Earth sphere that minimized the RMS velocity of all these surrounding stations. Then, by reversely rotating the whole GPS velocity field of the Tarim basin with the above angular velocity, we removed the overall rigid rotation of the surrounding vicinity of the Tarim Basin. This is equivalent to converting the original GPS velocity field relative

to the Eurasia-fixed reference frame to the “Tarim surrounding vicinity fixed reference frame”.

The geodynamic source of the rotation of the Tarim plate

Tibetan plateau is made up of three plates: the rigid Indian plate in the south, the rigid Asia plate in the north and a giant crush zone – Tibet “plate” sandwiched between the two. The giant crush zone with a horn-like shape facing east is featured high temperature (temperature is higher by $\sim 300^\circ$ K than both the India plate and Eurasian plate) and low velocity (S wave velocity is lower by 5 % than the two plates on its both sides), and high Sn wave attenuation (on top of the upper mantle the Sn wave almost disappears) and strong seismic anisotropy, hence it must be softer. It can be seen from Fig. S9 that the collision

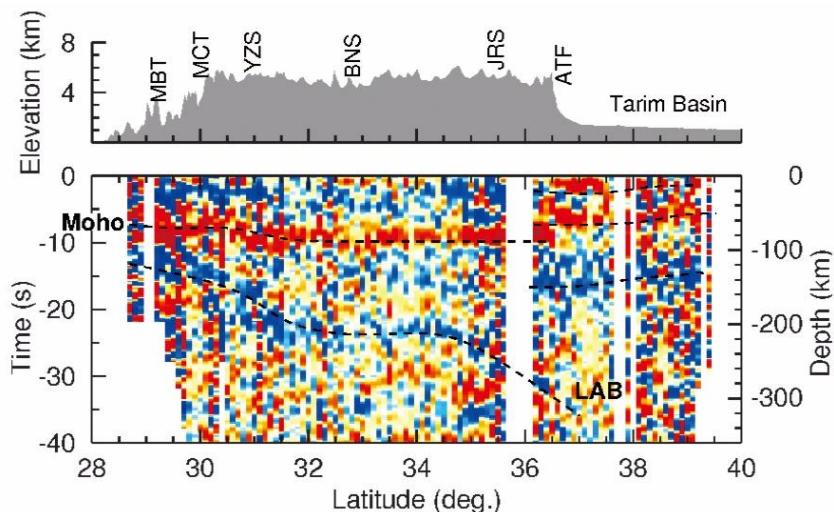


Fig. S8. S receiver functions, sorted by piercing points at the 150 km conversion depth [3]

Positive amplitudes are coded red, indicating an increasing velocity jump with depth; negative amplitudes are coded blue, indicating a negative velocity jump with depth. The Moho and LAB phases are marked by dashed lines. The elevation is plotted at the top of each section, along with the position of the major sutures and faults. The Indian LAB is deepening from about 100 km depth in northern India to about 200 km depth below the JRS at the ANTILOPE-I. The Asian LAB is only slightly south dipping from about 120 to 140 km at the profile. There are weak indications at the profile that the Asian LAB might continue some distance in south direction above the Indian LAB

Рис. S8. Функции S-приемника, классифицированные по точкам проникновения на глубине преобразования в 150 км [3]

Положительные амплитуды обозначены красным цветом, указывающим на возрастание скорости с увеличением глубины; отрицательные амплитуды обозначены синим цветом, указывающим на возрастание отрицательной скорости с увеличением глубины. Пунктирными линиями отмечены фазы Мохо (Moho) и LAB. Высота подъема отображается в верхней части каждой секции вместе с положением основных тектонических швов и разломов. Индийский LAB углубляется примерно на 100 км в северной Индии и до 200 км вглубь под JRS на профиле ANTILOPE-I. Азиатский LAB имеет небольшой уклон по профилю к югу от 120 до 140 км.

На профиле есть слабые признаки того, что азиатский LAB может простираться на некоторое расстояние в южном направлении над индийским LAB

between The Indian plate and the Asian plate occurred mainly at the southwest corner of the Tarim Basin, and a torque was generated in the Tarim plate, making the Tarim plate rotate clockwise. To the east, the Tibetan “plate”, which is soft between the Indian plate and the Asian plate, has strong internal deformation under the stress background of the south-north compression, transmitting the stress to the west. Therefore, under the impact of the Indian plate, the Tarim plate would rotate clockwise on the one hand and translate from south to north on the other hand.

Eocene and Oligocene mammalian faunas from the Junggar basin and the Mongolian plateau

Changes in faunal compositions reveal distinct differences in biological evolution of the Junggar basin nearby the Tarim basin, and the Mongolian plateau, more than 1000 km farther east, but with the same latitude (Fig. S10).

The above arguments in favor of the character of rotation of the Tarim Basin are confirmed by the analysis of the distribution of the Eocene-Oligocene Mammalian fauna. There are data from various sources.

Late Eocene, Junggar basin [7] includes the Keziletuogayi A3 Fauna Insectivora, Fam. et gen. indet., Lagomorpha, Ochotonidae, *Desmatolagus* sp. Rodentia, Cylindrodontidae, *Ardynomys vingradowi* *Ardynomys* sp., Dipodidae *Allosminthus* sp., Perissodactyla, Brontotheriidae Gen. et sp. indet., Paraceratheiinae Gen. et sp. indet., Amynodontinae Gen. et sp. indet., *Cadurcodon* cf. *ardynensis*, *Gigantamynodon giganteus*, Rhinocerotidae Gen. et sp. indet.

Early Oligocene, Junggar basin [7] includes the Keziletuogayi A1-2 Fauna Marsupia, Peradectidae, *Junggaroperadectes burquinensis*, Insectivora, Changlelestidae, *Tupaiodon* cf. *morrisi*, Erinaceidae, *Palaeoscaptor* cf. *acridens*, Lagomorpha, Ochotonidae, *Desmatolagus* sp., Rodentia,

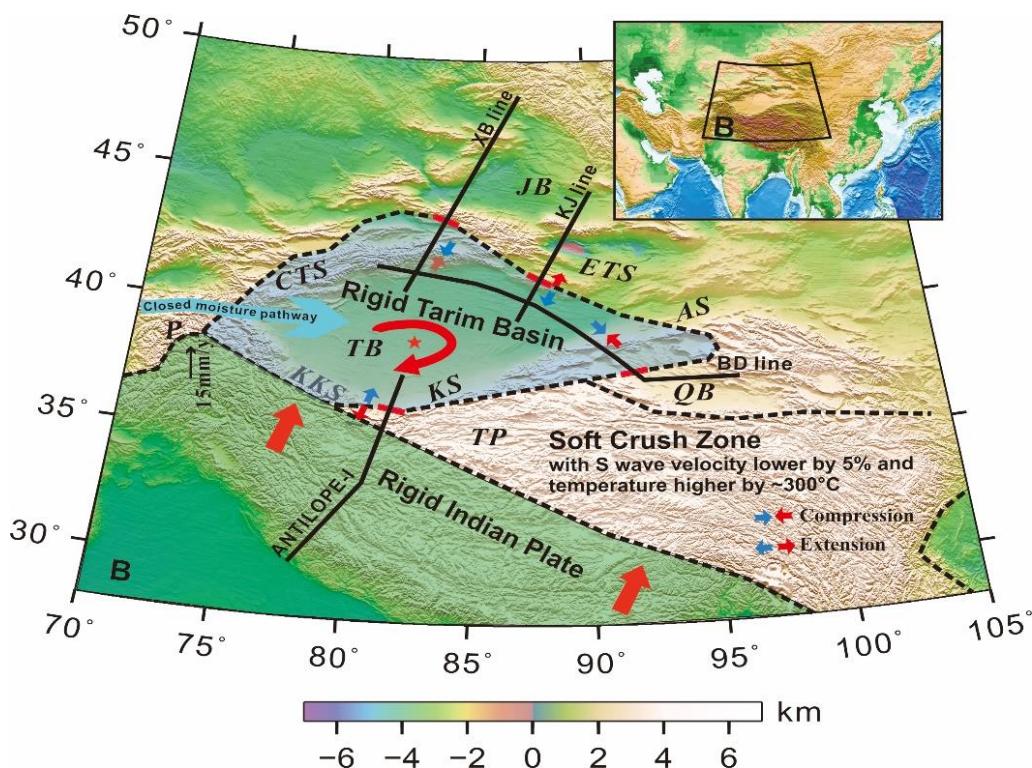


Fig. S9. Plate tectonics of western China

The solid line represents the location of the seismic section. The shaded region highlights the locations of the rigid Tarim plate, the Indian plate, and the giant crush zone (the Tibetan "plate") (the lithospheric mantle) as determined by the seismic wide-angle reflection / refraction profile [1, 2], the receiver function [3], and seismic tomography [6].

The thick red line at the edge of the Tarim basin represents the lithosphere outer margin of the Tarim plate along four sections. Blue and red arrow pairs represent compression or extension stress environments.

The red star indicates the position of the Euler pole, around which the Tarim plate rotates regularly

TB – Tarim Basin; JB – Junggar Basin; CTS – Central Tianshan; ETS – East Tianshan; P – Pamirs;

AS – Altyn Tagh mountain; KS – Kunlun Mountains; KKS – Karakoram mountains;

QB – Qaidam Basin; TP – Tibetan Plateau

Рис. S9. Тектоника плит западного Китая

Сплошной линией обозначено положение сейсмического разреза. Заштрихованная область указывает местонахождение жесткой Таримской плиты, Индийской плиты и гигантской сбросовой зоны (Тибетской "плиты") (литосферной мантии), что было определено сейсмическим широкоугольным профилем отражения / преломления [1, 2], функцией приемника [3] и сейсмической томографией [6]. Жирная красная линия по краю Таримского бассейна обозначает внешний край литосферы Таримской плиты по четырем участкам. Пары синих и красных стрелок обозначают напряженные области сжатия или растяжения. Красная звездочка

указывает положение полюса Эйлера, вокруг которого регулярно вращается Таримская плита

TB – Таримский бассейн; JB – Джунгарский бассейн; CTS – Центральный Тянь-Шань; ETS – Восточный Тянь-Шань; P – Памир; AS – гора Алтын Таг; KS – горы Куньлунь; KKS – горы Каракорум;

QB – Кайдамский бассейн; TP – Тибетское плато

Ctenodactylidae, *Karakoromys decessus*, *Tsagannomyidae*, *Cyclomylus lohensis*, Muridae, *Cricetops dormitory*, Dipodidae, *Parasminthus tangingoli*, *Parasminthus* aff. *Asiaecentrali*, *Tatalsminthus* sp., Sciuridae, Gen. et sp. Indet, Aplodontidae, *Prosciurus* sp., Cricetidae, Gen. et sp. Indet, *Eucricetodon* sp., *Eucricetodon caducus*, *Eucricetodon asiaticus*, *Ulaancricetodon* cf. *badamae*, Castoridae, *Propalaeocastor irtishensis*, Creodontida, Hyaenodontidae, *Hyaenodon* sp.

Late Oligocene, Junggar basin [8, 9] includes the Tieersihabahe Fauna Insectivora, *Erinaceidae*, *Amphechinus kansuensis*, *Amphechinus minimus*, *Amphechinus* cf. *rectus*, Talpidae, Gen. et sp. indet., Soricidae, Heterosoricinae, Gen. et sp. indet., Crocidosoricinae, Gen. et sp. indet., Didymoconidae, *Didymoconus* sp., Chiroptera, Fam. et gen. indet, Lagomorpha, Ochotonidae, *Desmatolagus gobiensis*, *Desmatolagus* sp. 1, *Desmatolagus* sp. 2, *Sinolagomys major*, *Sinolagomys kansuensis*, Rodentia, Ctenodactylidae,

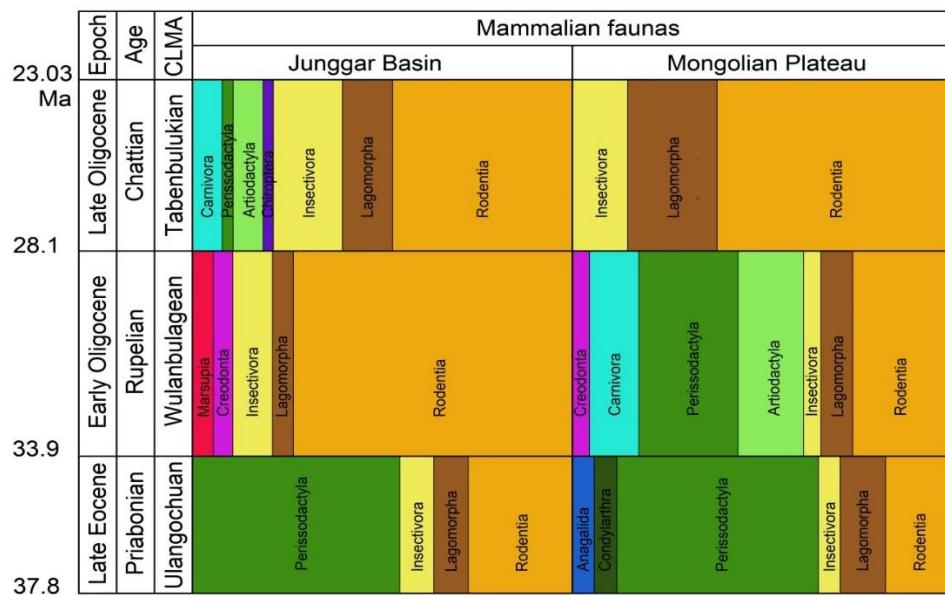


Fig. S10. Changes in faunal compositions (in percentages)

Left, a perissodactyl-dominant fauna lived in the Junggar basin during the Late Eocene, but rodents and lagomorphs had dominated the local ecosystem since the Eocene / Oligocene boundary. Right, ungulates including perissodactyls and artiodactyls were the main members of the Late Eocene and Early Oligocene mammalian faunas in the Mongolian plateau, while rodents and lagomorphs expanded their distribution until the Late Oligocene

CLMA – Chinese Land Mammal Age

Рис. S10. Изменения в составе фауны (в процентах)

Слева: фауна с преобладанием непарнокопытных животных, которые обитали в Джунгарском бассейне в позднем эоцене, с доминированием грызунов и зайцеобразных в местной экосистеме с конца эоцена – начала олигоцена. Справа: копытные животные, включая непарнокопытных и парнокопытных, которые были основными представителями фауны млекопитающих позднего эоцена и раннего олигоцена на Монгольском плато; грызуны и зайцеобразные продолжили свое распространение до позднего олигоцена
CLMA – кайнозой на территории Китая

Yindirtemys cf. deflexus, *Yindirtemys ambiguous*, Cricetidae, *Tachyoryctoides obrutschewi*, *Eucricetodon* sp., Dipodidae *Parasmimnthus asiaecentralis*, *Parasmimnthus tangingoli*, *Bohlinosminthus parvulus*, *Plesiosminthus* sp., *Litodonomys* sp. 1, *Litodonomys* sp. 2, *Litodonomys* sp. 3, *Litodonomys* sp. 4, *Litodonomys* sp. 5, Aplodontidae, Anomyninae, Gen. et sp. indet., Sciuridae, *Eutamias* sp., Gen. et sp. indet., Eomyidae, *Pseudotheridomys asiaticus*, Gliridae, *Gliruloides zhoui*, Carnivora, Gen. et sp. indet. 1, Gen. et sp. indet. 2, Gen. et sp. indet. 3, Perissodactyla, Paracetheriidae, *Aralotherium sui*, Artiodactyla, Cervoidea, *Eumeryx* sp. 1, *Eumeryx* sp. 2, Bovidae, Gen. et sp. indet.

Late Eocene, Mongolian plateau [9] includes the Ulan Gochu Fauna Insectivora, Didymocoridae, Gen. et sp. indet., Lagomorpha, Ochotonidae, *Desmotolagus vetustus*, Leporidae, *Gobiolagus andrewsi*, Rodentia, Ischyromyidae, Gen. et sp. indet., *Hulgana ertinia*, Cylindrodontidae, *Ardynomys* sp., Anagalida, Anagalidae, *Anagale*

gobiensis, Condylartha, Mesonychidae, *Mongolestes hadrodens*, Perissodactyla, Brontotheriidae, *Metatitan primus*, *Metatitan progressus*, *Embolotherium grangeri*, *Embolotherium loucksii*, *Embolotherium andrewsi*, Amynodontidae, Gen. et sp. indet., *Amynodontopsis* sp., *Cadurcodon* sp., *Zaisanamynodon?* sp.

Early Oligocene, Mongolian plateau [10, 11] includes the Wulanbulage Fauna Insectivora, Fam. et gen. indet., Lagomorpha, Ochotonidae, *Desmotolagus gobiensis*, Leporidae indet., Gen. et sp. indet., Rodentia, Ctenodactylidae, *Karakorumys decessus*, *Tataromys sigmodon*, Dipodidae, *Plesiosminthus tangingoli*, Tsaganomyidae, *Tsaganomys* sp., *Cyclomylus lohensis*, Muridae, *Cricetops dormitory*, Creodonta, Hyaenodontidae, *Hyaenodon* sp., Carnivora, Miacidae, Gen. et sp. indet., Fam. et gen. indet., Amphicyonidae, *Amphicyon* sp., Perissodactyla, Tapiroidea, Fam. et gen. indet., Chalicotheriidae, *Schizotherium* sp., Paraceratheriidae, *Paraceratherium lepidum*, Amynodontidae, *Cadurcodon*



ardynensis, Rhinocerotidae, *Aprotodon* sp., Gen. et sp. indet., Artiodactyla, Cervoidea, *Eumeryx* sp., Lophiomerycidae, *Lophiomeryx* sp., *Lophiomeryx gobiae*, Bovidae, Gen. et sp. indet.

Late Oligocene, Mongolian plateau [9, 10] includes the Yikebulage Fauna Insectivora, Erinaceidae, *Amphechinus* cf. *rectus*, *Amphechinus minimus*, *Amphechinus* sp., Lagomorpha, Ochotonidae, *Desmatolagus* sp., *Sinolagomys gracilis*, *Sinolagomys kansuensis*, *Sinolagomys*

major, *Sinolagomys* sp., Rodentia, Ctenodactylidae, *Distylomys qianlishanensis*, *Tataromys parvus*, *Yindirtemys ambiguous*, *Yindirtemys deflexus*, *Yindirtemys grangeri*, *Yindirtemys suni*, *Yindirtemys* sp., Dipodidae, *Plesiosminthus parvulus*, *Plesiosminthus tatingoli*, Muridae, *Tachyoryctoides kokonorensis*, *Tachyoryctoides obrutschewi*, Tsaganomyidae, *Tsaganomys* sp., Castoridae, Gen. et sp. indet.

References

1. Zhao J, Liu G, Lu Z, Zhang X, Zhao G. Lithospheric structure and dynamic processes of the Tianshan orogenic belt and the Junggar basin. *Tectonophysics*. 2003;376: 199–239. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2003.07.001>
2. Zhao J, Mooney WD, Zhang X, Li Z, Jin Z, Okaya N. Crustal structure across the Altyn Tagh Range at the northern margin of the Tibetan plateau and tectonic implications. *Earth and Planetary Science Letters*. 2006;241:804–814. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.11.003>
3. Zhao J, Yuan X, Liu H, Kumar P, Pei S, Kind R, et al. The boundary between the Indian and Asian tectonic plates below Tibet. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2010;107: 11229–11233. <https://doi.org/10.1073/pnas.1001921107>
4. Li Q, You X, Yang S, Du R, Qiao X, Zou R, et al. A precise velocity field of tectonic deformation in China as inferred from intensive GPS observations. *Science China Earth Sciences*. 2012;55(5):695–698. <https://doi.org/10.1007/s11430-012-4412-5>
5. Zubovich AV, Wang X, Scherba YG, Schelochkov GG, Reilinger R, Reigber C, et al. GPS velocity field for the Tien Shan and surrounding regions. *Tectonics*. 2010;29:1–23. <https://doi.org/10.1029/2010TC002772>
6. Li C, van der Hilst RD, Meltzer AS, Engdahl ER. Subduction of the Indian lithosphere beneath the Tibetan Plateau and Burma. *Earth and Planetary Science Letters*. 2008;274:157–168. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.07.016>
7. Sun J, Ni X, Bi S, Wu W, Ye J, Meng J, et al. Synchronous turnover of flora, fauna, and climate at the Eocene-Oligocene Boundary in Asia. *Scientific Reports*. 2014;4:7463. <https://doi.org/10.1038/srep07463>
8. Ye J, Wu W, Ni X, Bi S, Sun J, Meng J. The Duolebulejin section of northern Junggar basin and its stratigraphic and environmental implication. *Science China: Earth Sciences*. 2012;42:1523–1532.
9. Meng J, McKenna MC. Faunal turnovers of Palaeogene mammal from the Mongolian Plateau. *Nature*. 1998;394:364–367. <https://doi.org/10.1038/28603>
10. Wang B, Chang J, Meng X, Chen J. Stratigraphy of the Upper and Middle Oligocene of Qianlishan district, Nei Mongol (Inner Mongolia). *Vertebrata PalAsiatica*. 1981;19:26–34.
11. Qiu Z, Wang B. Paraceratherium fossils of China. *Palaeontologia Sinica, New Series*. 2007;29:1–396.

Список литературы

1. Zhao J., Liu G., Lu Z., Zhang X., Zhao G. Lithospheric structure and dynamic processes of the Tianshan orogenic belt and the Junggar basin // *Tectonophysics*. 2003. Vol. 376. P. 199–239. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2003.07.001>
2. Zhao J., Mooney W.D., Zhang X., Li Z., Jin Z., Okaya N. Crustal structure across the Altyn Tagh Range at the northern margin of the Tibetan plateau and tectonic implications // *Earth and Planetary Science Letters*. 2006. Vol. 241. P. 804–814. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.11.003>
3. Zhao J., Yuan X., Liu H., Kumar P., Pei S., Kind R., et al. The boundary between the Indian and Asian tectonic plates below Tibet // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2010. Vol. 107. P. 11229–11233. <https://doi.org/10.1073/pnas.1001921107>
4. Li Q., You X., Yang S., Du R., Qiao X., Zou R., et al. A precise velocity field of tectonic deformation in China as inferred from intensive GPS observations // *Science China Earth Sciences*. 2012. Vol. 55. Iss. 5. P. 695–698. <https://doi.org/10.1007/s11430-012-4412-5>
5. Zubovich A.V., Wang X., Scherba Y.G., Schelochkov G.G., Reilinger R., Reigber C., et al. GPS velocity field for the Tien Shan and surrounding regions // *Tectonics*. 2010. Vol. 29. P. 1–23. <https://doi.org/10.1029/2010TC002772>
6. Li C., van der Hilst R.D., Meltzer A.S., Engdahl E.R. Subduction of the Indian lithosphere beneath the Tibetan Plateau and Burma // *Earth and Planetary Science Letters*. 2008. Vol. 274. P. 157–168. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.07.016>
7. Sun J., Ni X., Bi S., Wu W., Ye J., Meng J., et al. Synchronous turnover of flora, fauna, and climate at the Eocene-Oligocene Boundary in Asia // *Scientific Reports*. 2014. Vol. 4. P. 7463. <https://doi.org/10.1038/srep07463>
8. Ye J., Wu W., Ni X., Bi S., Sun J., Meng J. The Duolebulejin section of northern Junggar basin and its stratigraphic and environmental implication // *Science China: Earth Sciences*. 2012. Vol. 42. P. 1523–1532.



9. Meng J., McKenna M.C. Faunal turnovers of Palaeogene mammal from the Mongolian Plateau // *Nature*. 1998. Vol. 394. P. 364–367. <https://doi.org/10.1038/28603>

10. Wang B., Chang J., Meng X., Chen J. Stratigraphy of the Upper and Middle Oligocene of Qianlishan district, Nei Mongol (Inner Mongolia) // *Vertebrata PalAsiatica*. 1981. Vol. 19. P. 26–34.

11. Qiu Z., Wang B. Paraceratherium fossils of China // *Palaeontologia Sinica, New Series*. 2007. Vol. 29. P. 1–396.

Information about the author / Сведения об авторе



Junmeng Zhao,

Key Laboratory of Continental Collision and Plateau Uplift,
Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences,
Beijing 100085, China

✉ e-mail: zhaojm@itpcas.ac.cn

Чжао Цзюньмэн,

Главная лаборатория континентальной коллизии и подъема Плато,
Институт изучения Тибетского плато, Китайская академия наук,
100085, г. Пекин, Китай,

✉ e-mail: zhaojm@itpcas.ac.cn

Contribution of the author / Заявленный вклад автора

The author performed the research, made a generalization on the basis of the results obtained and prepared the copyright for publication.

Автор выполнил исследовательскую работу, на основании полученных результатов провел обобщение, подготовил рукопись к печати.

Conflict of interests / Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by the author.

Information about the article / Информация о статье

The article was submitted 08.09.2020; approved after reviewing 14.10.2020; accepted for publication 16.11.2020.

Статья поступила в редакцию 08.09.2020; одобрена после рецензирования 14.10.2020; принята к публикации 16.11.2020.



Оригинальная статья / Original article

УДК 378.14:551.1

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-4-499-509>



Особенности дистанционного обучения по дисциплинам направления «Науки о Земле» в техническом вузе

© Л.А. Рапацкая^a, В.И. Снетков^b

^{a,b}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме: В последние десятилетия как в России, так и за рубежом широкое использование получила дистанционная форма обучения, а особенно мощный импульс к развитию и распространению дистанционно-образовательных технологий придала пандемия коронавируса в 2019 г. Для повышения эффективности учебного процесса в системе дистанционного обучения потребовалась доработка различных и доступных форм обучения, необходимостью оказалось также и более широкое использование новых образовательных технологий. Целями данного исследования стали анализ использования новейших образовательных технологий при дистанционном обучении студентов по дисциплинам направления «Науки о Земле» в техническом вузе, а также формирование современного образовательного пространства при онлайн-обучении, стимулирование самостоятельной работы обучающихся на основе заданий, направляемых преподавателями. В ходе описанного в данной работе исследования были рассмотрены следующие особенности использования дистанционного обучения в Иркутском национальном исследовательском техническом университете: специфика представления теории и формы подачи материала для выполнения лабораторных работ, выбор наиболее эффективных средств обучения, методика текущего и окончательного контроля знаний студентов. Иркутский национальный исследовательский технический университет из всего множества разнообразных систем дистанционного обучения выбрал систему Moodle. Плюсом данной системы является возможность выполнения лабораторных, практических и курсовых работ, что немаловажно для технического вуза, проведение тестирований, результаты которых преподаватели и студенты могут отслеживать в электронном журнале оценок. Как выяснилось, система дистанционного обучения более многогранна, но тем не менее и более трудоемка, чем очная, а также осложнена целым рядом технических проблем. Процесс дистанционного обучения требует установления определенного паритета интересов, способностей и возможностей между обучающей (преподаватель) и обучаемой (студент) сторонами. В системе дистанционного обучения проявляется ряд особенностей, которые следует учитывать при подаче теоретического и лекционного материала, что требует более строгого подбора файлов или конвертации их в менее тяжелые, а также лаконичности и четкости изложения материала. Большое значение приобретает использование виртуальных лабораторий для проведения лабораторных работ, доступность использования дистанционных технологий для обучения студентов-инвалидов и студентов заочного обучения. По результатам исследования можно сказать, что на сегодняшний день дистанционное обучение является необходимой частью образовательной системы наряду с такими формами обучения, как очное или заочное, а одними из главных целей современного дистанционного обучения становятся умение работать с информацией и самосовершенствование.

Ключевые слова: дистанционное обучение, информационные технологии, система Moodle, виртуальные лаборатории, тестирование

Для цитирования: Рапацкая Л.А., Снетков В.И. Особенности дистанционного обучения по дисциплинам направления «Науки о Земле» в техническом вузе. *Науки о Земле и недропользование*. 2020. Т. 43. № 4. С. 499–509. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-4-499-509>

Features of distance learning by the disciplines in the Earth Sciences direction at a technical university

© Larisa A. Rapatskaya^a, Vyacheslav I. Snetkov^b

^{a,b}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract: Distance education has become widely used both in Russia and abroad in recent decades. A particularly powerful impetus to distance education technology development and spread was given by the coronavirus pandemic in 2019. To improve learning efficiency in the system of distance education, it was required to refine various and accessible forms of education. It was also necessary to make a wider use of new educational technologies. The purpose of this study is to analyze the use of the latest educational technologies in the distance learning of students in the disciplines of the Earth Sciences direction at a technical university, as well as to form a modern educational space in online learning and stimulate



students' independent work based on the assignments supervised by teachers. The study described in this paper deals with the following application features of distance learning at Irkutsk National Research Technical University: the presentation specifics of the theory and the introduction forms of material for laboratory works, choice of the most effective teaching aids, methodology for the current and final control of students' knowledge. Irkutsk National Research Technical University has chosen Moodle from a wide variety of distance learning systems. The advantage of this system is the ability to perform laboratory, practical and course works, which is important for a technical university, also to conduct tests, the results of which can be monitored by both teachers and students in an electronic gradebook. The distance learning system turned out to be more multisided, but more laborious than in-person training. Moreover, it is also complicated by a number of technical problems. The distance learning process requires the establishment of a certain parity of interests, abilities and opportunities between the teaching (professor/lecturer) and the learning (student) parties. The distance learning system has a number of features that should be taken into account when introducing theoretical and lecture material, which requires a more rigorous selection of files or their conversion into less heavy ones, as well as conciseness and clarity of material presentation. The use of virtual laboratories for carrying out laboratory works, availability of distance technologies for training disabled students and corresponding students is gaining great importance. The research results imply that today distance learning is a necessary part of the educational system along with in-person (full-time) or correspondent (part-time) training and one of the main goals of modern distance learning is the ability to work with information and self-improvement.

Keywords: distance learning, information technologies, Moodle, virtual laboratories, testing

For citation: Rapatskaya LA, Snetkov VI. Features of distance learning by the disciplines in the Earth Sciences direction at a technical university. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2020;43(4):499–509. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-4-499-509>

Введение

В современном мире информационные технологии внедрены во все сферы жизни человека, и сфера образования не стала исключением. Одним из видов внедрения информационных технологий в сфере образования является использование дистанционного обучения – обучения, при котором все учебные процедуры или большая их часть осуществляется с использованием современных информационных и телекоммуникационных технологий при территориальной разобщенности преподавателей и студентов.

Первый университет дистанционного образования, называющийся Открытый университет (англ.: *Open University of Great Britain*), был основан в Великобритании указом ее величества королевы еще в 1969 году, и по сей день он является государственным научно-исследовательским университетом и крупнейшим университетом в Великобритании (рис. 1) [1–3]. В наши дни дистанционное обучение уже пользуется широким спросом во многих странах мира, причем не только в сфере традиционного образования в вузах, колледжах и школах, но и в различных учебных центрах и консалтинговых компаниях, в результате чего такой системой охвачены все сферы деятельности: риелторы, страховщики, туроператоры, дизайнеры, парикмахеры, стилисты, бухгалтеры и т. д. [4–6].

В российской действительности такая тенденция до недавнего времени только начинала активизироваться. Тем не менее в последние десятилетия дистанционно-образовательные технологии стали получать широкое развитие также и в России, но мощный импульс к развитию и распространению дистанционной формы обучения как в нашей стране, так и за рубежом придала пандемия коронавируса в 2019 г. В связи с этим Министерством науки и высшего образования Российской Федерации был разработан и внедрен целый ряд научно-методических программ, также на развитие и становление дистанционного обучения были выделены денежные средства.

Материалы и методы исследования

Хотим мы этого или нет, но, по-видимому, дистанционное обучение прочно войдет в жизнь вузов. Разумеется, технологии дистанционного обучения стали применяться и в Иркутском государственном исследовательском техническом университете, но в нашем университете внезапный и стремительный переход на систему дистанционного обучения как на непривычный формат работы обнаружил целый ряд проблем, требующих для успешного продолжения такой работы их безотлагательного решения.



a



b

Рис. 1. Здание (а)¹ и герб (б)² Открытого университета Великобритании
Fig. 1. The building (a)¹ and the coat of arms (b)² of the Open University of Great Britain

По мере вхождения в дистанционное обучение выяснилось, что данная система является не только более многогранной, чем очная, но и более трудоемкой, а также она обременена целым рядом технических проблем. Более того, она отличается своеобразием специфики подачи материала, множественным выбором разнообразных методов обучения, способов текущего и окончательного контроля обучающихся. При этом некоторые вопросы в дистанционной форме решаются даже более успешно, например при индивидуализации обучения.

Успех дистанционного обучения в большой мере зависит от четкости организации учебного процесса, технических возможностей учебного заведения (видео- и аудиоподачи материалов), образовательного уровня обучающихся, качества и количества предлагаемого материала, педагогических способностей преподавателя и целого ряда медицинских (физиологических) аспектов, таких как время работы с компьютером и другие [7, 8].

Чтобы повысить эффективность учебного процесса в системе дистанционного обучения, требуется развивать различные и доступные формы обучения, более широко использовать новые образовательные технологии, с

которыми знакомы немногие преподаватели, активизировать познавательную мотивацию студентов. Здесь представляется, что без участия психологов, социологов и проведения массовых опросов не обойтись [9, 10].

Так как в процессе обучения участвуют две стороны – обучающая (преподаватель) и обучаемая (студенты), необходимо установить определенный паритет между их интересами, способностями и возможностями. Следует признать и принять во внимание, что нынешнее так называемое цифровое поколение студентов, с пеленок выросшее с различными гаджетами, резко отличается от прежнего по характеру, уровню информированности и образования, форме восприятия нового материала. Наверное, нет нужды говорить о необходимости доступа к Интернету участвующих сторон при дистанционном обучении независимо от места нахождения и наличия соответствующих инструментов. Следует обратить внимание также и на возможности обучающей системы.

Результаты исследования и их обсуждение

На сегодняшний день существуют разнообразные системы дистанционного обучения,

¹ Открытый университет Великобритании // Учеба за рубежом [Электронный ресурс]. URL: http://www.studyabroad.ru/news/index.php?ELEMENT_ID=14723 (25.08.2020).

² Open University // Wikipedia, the free encyclopedia [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Open_University (25.08.2020).



из всего множества которых Иркутский национальный исследовательский технический университет выбрал систему Moodle, которая относится к программному обеспечению свободного типа распространения (рис. 2) [11].

Плюсом системы Moodle является возможность выполнения лабораторных, практических и курсовых работ, проведение тестирований, результаты которых преподаватели и студенты могут отслеживать в электронном журнале оценок. Вопросы тестов могут быть разными: стоять в закрытой форме (множественный выбор), иметь выбор «верно / неверно», предполагать поиск соответствий, краткий текстовый ответ, а также быть сформулированы в числовой или вычисляемой форме.

На наш взгляд, при дистанционном обучении следует выделить пять основных позиций:

- форма изложения теоретических вопросов;
- форма подачи материала при выполнении лабораторных (практических) работ;
- раздаточный материал для выполнения заданий лабораторных (практических) работ;
- форма текущего и окончательного контроля знаний;
- итоговая оценка знаний.

С типовой структурой онлайн-дисциплины можно ознакомиться на рис. 3.

Процесс взаимодействия студентов и преподавателя в онлайн-форме имеет свои нюансы. Как правило, при онлайн-обучении на лекциях студенты не обращают внимание на подробности, записывая только основные тезисы или, что чаще, ведут фото- и иногда видеосъемку (запись экрана), тем самым создавая для себя ложное представление о знании и понимании темы лекции. Внимание слушателей после 20–30 минут лекции ослабевает, интерес пропадает, особенно при изложении сложного материала, а конспектируются только выводы. Также случается, что при дистанте некоторые студенты просто регистрируются, оставляя компьютер, планшет или смартфон включенным, создавая уже у преподавателя ложное представление о своем присутствии. Этот фактор следует учесть и всегда стараться устанавливать обратную связь со студентами, например, прерывая лекцию контрольными вопросами и обращаясь к конкретным слушателям, как в офлайне, используя чат или микрофон [12].

Процесс дистанционного изложения теоретического материала имеет свою специфику. Так, при аудиторном обучении преподаватель может снабдить излагаемое положение (тезис) многочисленными примерами, плакатами, дополнительными пояснениями и т. д.



Рис. 2. Организация электронного обучения в образовательной среде Moodle³
Fig. 2. Organization of e-learning in the Moodle educational environment³

³ Методические рекомендации по разработке онлайн-курса в системе управления электронным обучением (LMS) MOODLE. Томск: Изд-во ТПУ, 2018. 36 с.



Информационно-организационный модуль	
<ul style="list-style-type: none">Объявления преподавателяФорум «вопрос – ответ»Информация о курсеМультимедиа презентация курса (не является обязательной частью)Информация о преподавателе (или ссылка на персональную страницу)Инструкция по работе с курсомГлоссарий по дисциплине (не является обязательной частью)Календарный рейтинг-планСсылка на рабочую программу дисциплины в фонде ООП	
Неделя 1 / Тема 1 / Раздел 1*	
<ul style="list-style-type: none">Результаты обучения и перечень компетенций*, достигаемых на неделе / в модулеОсновной и дополнительный теоретический материал*Тестирование по результатам освоения теоретического материалаКомплект материалов для практической, индивидуальной, совместной, лабораторной/курсовой работ*	
Неделя N / Тема N / Раздел N*	
.....	
Промежуточный контроль по дисциплине (комплект заданий)	
<ul style="list-style-type: none">Образец экзаменационного билета и примеры его выполнения*Методические рекомендации по выполнению оценочных мероприятий итогового контроляКомплект вопросов для проведения онлайн-тестирования	

Рис. 3. Типовая структура онлайн-дисциплины⁴Fig. 3. Typical structure of an online discipline⁴

При дистанте он лишен такой возможности ввиду ограничений, предлагаемых системой обучения, размерами загружаемых файлов для каждой темы. Если материал сопровождается рисунками, схемами, графиками и т. д., подтверждающими основные тезисы излагаемого материала, то это требует более строгого подбора файлов (или конвертации их в менее тяжелые), а также лаконичности и четкости подачи материала.

К изложенному выше напрашивается вывод о том, что в процессе дистанционного обучения все раннее подготовленные конспекты для аудиторных занятий требуют радикальных мер по переосмыслению и переформатированию не только относительно формы подачи материала, его разнообразия, дозированного подбора, но и по воздействованию всех возможностей Moodle. Особенно это касается лабораторных и практических занятий.

В последнее десятилетие прижилась система подачи теоретического материала в виде презентаций в программе PowerPoint, которая имеет свои плюсы и минусы. Для студентов плюсами является возможность съемки слайдов камерой или их просмотр, для преподавателей – возможность представ-

ления сложных чертежей без существенной потери времени для их вычерчивания на доске и увеличение количества представляющей информации за одну лекцию. К минусам можно отнести то, что слушатели, а мы бы назвали их зрителями (это значительная часть от группы), не имеют достаточного времени вникнуть в калейдоскоп слайдов (картинок) и их содержание, плохо усваивают материал, поскольку созерцательная роль не стимулирует запоминание – только повторение или ручная запись способствуют закреплению увиденного. Практика показала, что в оффлайне следует сочетать презентацию с представлением материала, излагаемого преподавателем, на доске. Это заставляет слушателя отвлекаться от созерцательного процесса, переходить к конкретным записям, тем самым активируя процесс запоминания.

При дистанционном обучении сопроводить каждую тему презентацией или сделать ее одной из форм подачи информации вполне естественно, вместе с тем следует помнить о минусах такого подхода и искать способы их компенсации. Например, важно выбрать основополагающие темы (разделы), а остальные указать как требующие самостоятельной

⁴ Методические рекомендации по разработке онлайн-курса в системе управления электронным обучением (LMS) MOODLE. Томск: Изд-во ТПУ, 2018. 36 с.



проработки, но при этом для контроля необходимо создать по ним соответствующие тестовые задания не по принципу вопросов с ответами «да / нет», а сложные, в том числе и эссе. При этом следует сделать акцент на главных задачах каждой темы. Главные темы должны сопровождаться выполнением лабораторных или практических работ за исключением тех, которые требуют специального лабораторного оборудования. Тема этих работ может быть одной, а вот условия – максимально возможно разными. Цель в данном случае – мотивировать каждого студента выполнять работу самостоятельно, сократив до минимума возможности заимствования. Все представленные темы должны заключаться выводами и контрольными вопросами, не повторяющимися при окончательном тестировании. В основу каждой дисциплины могут входить разные материалы, такие, например, как мультимедиа-курсы, видео- и аудиоматериалы, ресурсы сети Интернет, авторские печатные текстовые материалы преподавателя (учебники, учебные пособия, методические указания), рекомендуемая дополнительная литература и другое.

С учетом изложенного выше возникает вопрос: где взять необходимое количество свободного времени преподавателю, поскольку ему приходится сочетать аудиторную и внеаудиторную нагрузки, требующие в последнее время все больших временных затрат при активизации студентов в вечерние часы. Последняя считается и оценивается в нагрузке преподавателя все-таки как второстепенная.

Подводя итог представления теоретического материала, можно сделать акцент на основных требованиях при дистанционном обучении: это краткость, наглядность, доступность изложения, контролируемость и наличие разнообразного учебного материала.

Если с теорией все более-менее однозначно, то форма подачи материала практических (особенно лабораторных) работ является отдельной темой, требующей конкретики для каждой специальности. Возможности дать какие-то общие рекомендации взаимодействия со студентами-геологами в онлайн-формате просто нет, так как нельзя, например, предложить студентам поработать с

образцами минералов и пород или дать задания по построению геологического разреза на миллиметровой бумаге, потому что их невозможно проверить по фотографиям.

Такие предметы, как минералогия, петрография, работа с микроскопами, образцами минералов и горных пород вообще не могут быть вынесены в онлайн-пространство, в крайнем случае можно провести лабораторную работу онлайн только фрагментарно. В качестве примера можно привести лабораторную работу по определению диагностических свойств минералов. Из десяти свойств (твердость, плотность, цвет, цвет черты, блеск, спайность, излом, прозрачность, магнитные свойства, растворимость) только некоторые можно продемонстрировать онлайн.

Так, известно, что на окраске (цвете) минералов можно продемонстрировать весь цветовой спектр (рис. 4). Черту же – характерный диагностический признак, по которому можно определить цвет порошка минерала – дают только минералы, обладающие небольшой твердостью. Например, пирит имеет золотистый цвет, а цвет его полоски – черный, родохрозит – розового цвета, а оставляет белую черту (рис. 5).

Также наглядно можно продемонстрировать такое важное свойство, как спайность: у мусковита она весьма совершенная (рис. 6, а), у кальцита – совершенная (рис. 6, б), у кварца – весьма несовершенная (рис. 6, в).

К сожалению, продемонстрировать такие свойства минералов, как плотность, растворимость, магнитные свойства и целый ряд других в онлайн-формате нет возможности. И таких примеров при проведении лабораторных работ по различным дисциплинам геологического цикла можно привести множество.

Тем не менее общие положения для проведения лабораторных и практических занятий онлайн могут выглядеть следующим образом:

- форма задания;
- визуальный раздаточный материал для выполнения работы;
- демонстрация лабораторного оборудования;
- удаленный доступ к лицензионному программному обеспечению (горно-геологические информационные системы, географические

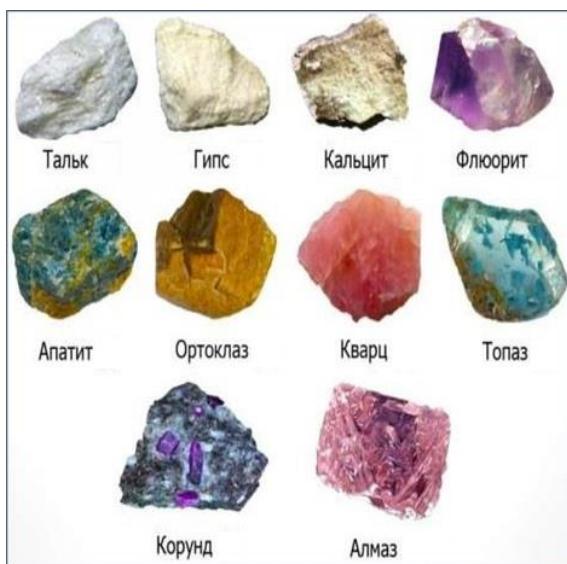


Рис. 4. Разнообразие цветовой гаммы окраски минералов⁵
Fig. 4. Variety of mineral coloring⁵



Рис. 5. Кристаллы пирита и родохрозита и черты, которые они оставляют на неглазурованной фарфоровой пластине⁶
Fig. 5. Pyrite and rhodochrosite crystals and the traces they leave on the unglazed porcelain plate⁶

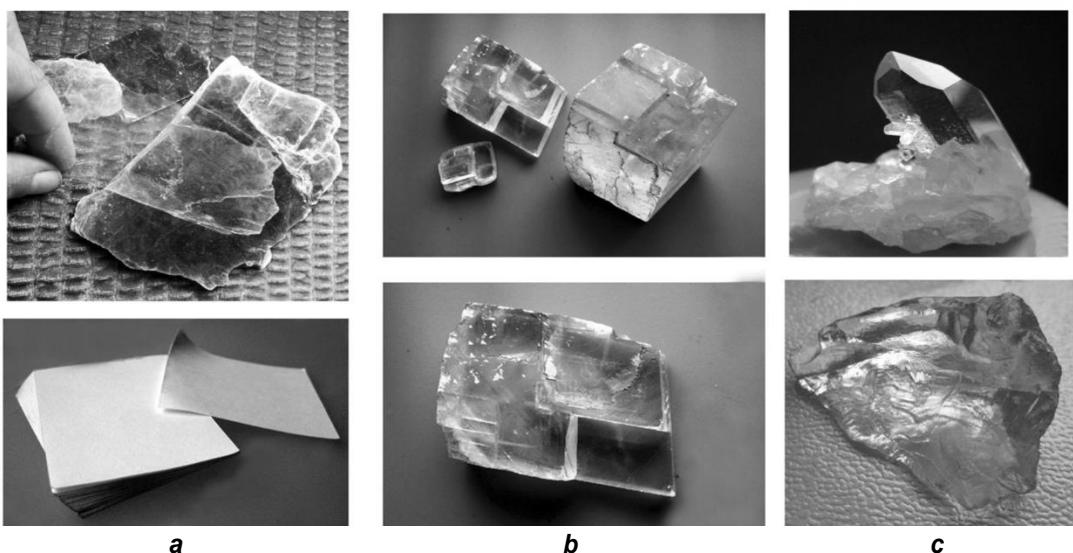


Рис. 6. Спайность минералов:
а – мусковит; б – кальцит; в – кварц⁷
Fig. 6. Cleavage of minerals:
a – muscovite; b – calcite; c – quartz⁷

информационные системы, AutoCAD и др.) и проведение практических занятий преподавателем с демонстрацией экрана;
– методические указания для выполнения

работ с подробными пошаговыми комментариями, иллюстрациями (лучший вариант – видеороликами);
– форма отчетности.

⁵ Шкала твердости Мооса // Burenieinfo.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://burenieinfo.ru/shkala-tverdosti-moosa> (25.08.2020).

⁶ An introduction to geology: free textbook for college-level introductory geology courses // OpenGeology [Электронный ресурс]. URL: <https://opengeology.org/textbook/3-minerals> (25.08.2020).

⁷ Оптические свойства минералов // Studopedya.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://studopedya.ru/2-37943.html> (25.08.2020).



При использовании лабораторного оборудования необходимо создание виртуальных лабораторных работ. Последовательность подачи материала в виртуальной лабораторной работе требует большей четкости в описании и последовательности действий. Кроме того, работа должна отличаться подробным описанием выполнения действий, множеством и разнообразием детальных подсказок и ссылок или наличием анимации.

Для подготовки студентов к реальным процессам посредством выполнения лабораторных работ при дистанционном обучении можно использовать виртуальные лаборатории [13, 14]. Использование виртуальных лабораторий в учебном процессе дает возможность студенту провести эксперименты на приборах, которыми он не может воспользоваться из-за отсутствия реальной лаборатории и расходных материалов, получить практические навыки для проведения исследований, детально ознакомиться с компьютерной моделью и процессом работы уникальной аппаратуры, исследовать опасные в реальной ситуации процессы и явления, не боясь возможных последствий. В качестве примера таких ресурсов в учебном процессе могут быть виртуальные лаборатории, позволяющие моделировать некоторые геологические процессы (например, демонстрация закона Дарси, характеризующего поток флюида через пористую среду). Их использование особенно актуально при освоении таких курсов, как геология месторождений нефти и газа, экология, геодезия, а также и базовых дисциплин, изучающих технологические процессы производства.

Отдельно хотелось бы остановиться на методах проведения тестирования студентов по отдельным темам. Для достижения лучшего результата тесты часто настраивают на несколько прогонов. При наличии таких настроек студенты кооперируются, кто-то из них «приносится в жертву», но при этом фиксируются правильные ответы, так что на следующий прогон выходит коллектив, вооруженный ответами, что называется, «до зубов» – и, как правило, тест сдается. Сокращение времени на тест также не является хорошим вариантом, поскольку требуется время для

понимания поставленной задачи и выдачи соответствующего ответа или решения, а не простой выбор определенных кнопок. Здесь следует не только соблюдать золотую середину во времени, но и учитывать разнообразие психологических особенностей студентов.

Следует также отметить важность дистанционных технологий для обучения студентов-инвалидов. Некоторые категории инвалидов (например, люди с нарушениями опорно-двигательной системы) вообще не способны учиться в режиме дневного или заочного обучения, так как они с трудом выезжают из дома, и поэтому, как правило, не имеют физической возможности получить высшее образование в онлайн-формате. Инвалиды с нарушениями сенсорных органов – зрения или слуха – также не могут учиться вместе со всеми. Использование дистанционных технологий является одним из ключевых путей решения этой проблемы [15].

В заключение – о значимости дистанционного обучения для студентов-заочников. В последние десятилетия трудности онлайн-обучения для преподавателей и заочников заключались в краткости заочных сессий (на которых все-таки имелась возможность представления основного содержания дисциплины, главных требований к ее освоению и проведения лабораторных экспериментов). Также определенную сложность представлял прием студентов с очень низким образовательным уровнем и студентов, к тому же не работающих по профилю выбранной специальности. Дистанционное обучение является для заочников существенным шагом вперед, дающим возможность получать больше теоретических знаний в постоянном режиме, а не от случая к случаю. Ко всему прочему для этой категории студентов данная форма получения знаний имеет и другие значимые плюсы:

- студенту не требуются перерывы в основной деятельности, дополнительный отпуск на сессию и командировка к месту обучения, то есть происходит значительная экономия денежных ресурсов;

- студент может проводить занятия в любом месте: на работе, в домашних условиях, в поездке, единственное требование при этом



– доступ к Интернету;

– студент сам регулирует временные затраты на обучение, так как у него есть возможность круглосуточного доступа к учебным материалам;

– независимо от места пребывания студент может общаться с преподавателем в онлайн-режиме и получать консультации.

В свою очередь, в качестве основного недостатка дистанционного обучения многие преподаватели вузов отмечают снижение качества подготовки специалиста за счет исключения контактной работы и лабораторной практики: больше всего преподавателям и студентам недостает личного контакта, живого непосредственного общения, при котором сразу видна реакция слушателей и можно почувствовать, понимают они материал или нет.

Заключение

Авторами данного исследования рассмотрена актуальность и востребованность дистанционного обучения студентов геологических специальностей в техническом университете, особенно в периоды обострения эпидемиологической обстановки в стране. Данная форма образования является наиболее доступным способом, не имеющим территориальных, возрастных ограничений, а также ограничений по состоянию здоровья. При этом дистанционное обучение требует соответствующего технологического оборудования, определенных знаний и навыков преподавателей и студентов, а каждая обучающая система, в частности использующаяся в Иркутском национальном исследовательском

техническом университете система Moodle, имеет ряд преимуществ и недостатков. Так, форма представления теоретического материала должна отличаться особой краткостью, наглядностью и доступностью изложения. При выполнении лабораторных работ для ряда дисциплин требуется создание виртуальных лабораторий, которые можно использовать для подготовки студентов к реальным процессам на производстве, но из этого следует высокая трудоемкость разработки и поддержания в актуальном состоянии дисциплин для дистанционного обучения. Особо следует отметить проблемы аутентификации слушателей и контроля знаний при проведении тестирований. Для лабораторных и практических занятий содержание контрольной / расчетной работы должно быть максимально различным для всех студентов группы. Также необходимо пересмотреть содержание и значимость аудиторной и внеаудиторной (онлайн) нагрузки преподавателей. Кроме того, в сфере организации дистанционного обучения студентов требуется проведение исследований психологов и социологов. Ко всему прочему, какими бы значимыми преимуществами ни обладало дистанционное обучение, все-таки основным должно быть обучение в онлайн-формате. Онлайн-обучение в наибольшей мере подходит для организации самостоятельной работы студентов, которая декларируется в федеральных государственных образовательных стандартах, прописана во всех учебных планах и рабочих программах, но пока недостаточно контролируется.

Список литературы

1. Perry W. The Open University // Proceedings of the Royal Institution of Great Britain. 1971. Vol. 44. Iss. 203. P. 95–112.
2. Киян И.В. Анализ зарубежного опыта дистанционного обучения // Энергобезопасность и энергосбережение. 2010. № 6. С. 32–36.
3. Водолад С.Н., Зайковская М.П., Ковалева Т.В., Савельева Г.В. Дистанционное обучение в вузе // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. 2010. № 1 (13). С. 129–138. [Электронный ресурс]. URL: <http://scientific-notes.ru/#new-number?id=13> (25.08.2020).
4. Barnard-Brak L., Sulak T., Tate A., Lechtenberger D. Measuring college students' attitudes toward requesting accommodations: a national multi-institutional study // Assessment for Effective Intervention. 2010. Vol. 35. Iss. 3. P. 141–147. <https://doi.org/10.1177/1534508409358900>
5. Burgstahler S., Corrigan B., McCarter J. Making distance learning courses accessible to students and instructors with disabilities: a case study // The Internet and Higher Education. 2004. Vol. 7. Iss. 3. P. 233–246. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2004.06.004>
6. Bonk C.J., Lee M.M., Reynolds T. A special passage through Asia e-learning // International Journal on E-Learning. 2009. Vol. 8. Iss. 4. P. 438–445.
7. Овсянников В.И. Структура дистанционного образования // Дистанционное образование в России. Постановка проблемы и опыт организации. М.: РИЦ



«Альфа»; МГОПУ им. М.А. Шолохова, 2001. С. 51.

8. Демкин В.П., Руденко Т.В., Серкова Н.В. Психолого-педагогические особенности дистанционного образования // Высшее образование в России. 2000. № 3. С. 124–128.

9. Полат Е.С., Петров А.Е. Дистанционное обучение: каким ему быть? // Педагогика. 1999. № 7. С. 29–34.

10. Шахмаев Н.М. Технические средства дистанционного обучения. М.: Знание, 2000. 276 с.

11. Салыхова Д.Р. Organization of distance learning in Moodle // Молодой ученый. 2015. № 6 (86). С. 207–210.

12. Андреев А.А., Солдаткин В.И. Дистанционное обучение: сущность, технология, организация. М.: Изд-во МЭСИ, 1999. 196 с.

13. Саданова Б.М., Олейникова А.В., Альберти И.В., Одинцова Е.А., Плеханова Е.Н. Применение возможностей виртуальных лабораторий в учебном процессе технического вуза // Молодой ученый. 2016. № 4 (108). С. 71–74.

14. Черемисина Е.Н., Антипов О.Е., Белов М.А. Роль виртуальной компьютерной лаборатории на основе технологии облачных вычислений в современном компьютерном образовании // Дистанционное и виртуальное обучение. 2012. № 1. С. 50–64.

15. Симановский А.Э. Использование дистанционных технологий для обучения студентов-инвалидов // Ярославский педагогический вестник. 2012. № 4. Том II. Психолого-педагогические науки. С. 238–240.

References

1. Perry W. The Open University. *Proceedings of the Royal Institution of Great Britain*. 1971;44(203): 95–112.
2. Kiyan IV. Analysis of international experience of distance learning. *Energobezopasnost' i energosberezhenie = Energy Safety and Energy Economy*. 2010;6:32–36. (In Russ.)
3. Vodolad SN, Zaikovskaya MP, Kovaleva TV, Savel'eva GV. Distance learning at the university. *Uchenye zapiski. Elektronnyi nauchnyi zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universi-teta = Scientific Notes: The online academic journal of Kursk State University*. 2010;1:129–138. Available from: <http://scientific-notes.ru/#new-number?id=13> [Accessed 25th August 2020]. (In Russ.)
4. Barnard-Brak L, Sulak T, Tate A, Lechtenberger D. Measuring college students' attitudes toward requesting accommodations: a national multi-institutional study. *Assessment for Effective Intervention*. 2010;35(3):141–147. <https://doi.org/10.1177/1534508409358900>
5. Burgstahler S, Corrigan B, McCarter J. Making distance learning courses accessible to students and instructors with disabilities: a case study. *The Internet and Higher Education*. 2004;7(3):233–246. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2004.06.004>
6. Bonk CJ, Lee MM, Reynolds T. A special passage through Asia e-learning. *International Journal on E-Learning*. 2009;8(4):438–445.
7. Ovsyannikov VI. The structure of distance education. In: *Distance education in Russia. Problem statement and organization experience*. Moscow: Al'fa; M.A. Sholo-
- khov Moscow State Open Pedagogical University; 2001. p.51. (In Russ.)
8. Demkin VP, Rudenko TV, Serkova NV. Psychological and pedagogical features of distance education. *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*. 2000;3:124–128. (In Russ.)
9. Polat ES, Petrov AE. Distance learning: what should it be. *Pedagogika*. 1999;7:29–34. (In Russ.)
10. Shakhmaev NM. *Technical means of distance learning*. Moscow: Znanie; 2000. 276 p. (In Russ.)
11. Salykhova DR. Organization of distance learning in Moodle. *Molodoi uchenyi = Young Scientist*. 2015;6: 207–210.
12. Andreev AA, Soldatkin VI. Distance learning: subject matter, technology, organization. Moscow: Moscow State University of Economics, Statistics and Informatics; 1999. 196 p. (In Russ.)
13. Sadanova BM, Oleinikova AV, Al'berti IV, Odintsova EA, Plekhanova EN. Using the potential of virtual laboratories in the educational process of technical high schools. *Molodoi uchenyi = Young Scientist*. 2016;4:71–74. (In Russ.)
14. Cheremisina EN, Antipov OE, Belov MA. A role of a virtual computer laboratory based on technologies of cloud calculations in up-to-date computer education. *Distantionnoe i virtual'noe obuchenie*. 2012;1:50–64. (In Russ.)
15. Simanovsky AE. Use of distance technologies to teach disabled students. *Yaroslavskii pedagogicheskii vestnik*. 2012;4:238–240. (In Russ.)

Сведения об авторах / Information about the authors



Рапацкая Лариса Александровна,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент,
профессор кафедры прикладной геологии,
геофизики и геоинформационных систем,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉ e-mail: raplarisa@yandex.ru



Larisa A. Rapatskaya,
Cand. Sci. (Geol. & Mineral.), Associate Professor,
Professor of the Department of Applied Geology,
Geophysics and Geoinformation Systems,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉ e-mail: raplarisa@yandex.ru



Снетков Вячеслав Иванович,
доктор технических наук,
заведующий кафедрой прикладной геологии,
геофизики и геоинформационных систем,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: snetkov@istu.edu
Vyacheslav I. Snetkov,
Dr. Sci. (Eng.),
Head of the Department of Applied Geology,
Geophysics and Geoinformation Systems,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: snetkov@istu.edu

Заявленный вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.*

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 10.09.2020; одобрена после рецензирования 13.10.2020; принята к публикации 16.11.2020.

The article was submitted 10.09.2020; approved after reviewing 13.10.2020; accepted for publication 16.11.2020.



Уважаемые авторы!

Требования к оформлению научных статей, изложенные ниже, разработаны редакцией журнала для того, чтобы помочь Вам предоставить все необходимые для публикации сведения и избежать наиболее распространенных ошибок.

1. Научный журнал «Науки о Земле и недропользование» принимает к публикации научные материалы в виде статей по следующим тематикам:

- геологическое строение месторождений полезных ископаемых;
- тектоника месторождений, рудных узлов, районов;
- минералогия и геохимия месторождений полезных ископаемых;
- генетические проблемы формирования месторождений полезных ископаемых и других геологических объектов;
- минерагения (металлогения): рудные зоны, районы, пояса, металлогенические карты;
- методы и методики поисков и разведки месторождений полезных ископаемых;
- экономическая оценка месторождений полезных ископаемых, правовые основы недропользования;
- физико-геологические модели месторождений полезных ископаемых;
- геоинформационные технологии в науках о Земле;
- технология и техника горно-буровых работ;
- технология и техника разработки месторождений полезных ископаемых;
- технология обогащения и переработки минерального сырья;
- геммология и технология художественной обработки минералов и горных пород;
- гидрогеология и инженерная геология;
- безопасность жизнедеятельности в горно-геологической отрасли;
- геоэкология.

2. Приоритетными для публикации являются статьи в области междисциплинарных и мультидисциплинарных исследований, а также результаты работ с использованием цифровых технологий.

3. Статьи принимаются на русском, английском, китайском и монгольском языках от авторов, работающих в российских и иностранных вузах, академических и отраслевых научно-исследовательских институтах, а также производственных горно-геологических организаций.

4. Статья сопровождается:

- электронными версиями всех документов (скан), в том числе:
авторского заявления, заполненного и подписанного всеми соавторами статьи;
авторского договора;
акта экспертного заключения о возможности открытой публикации материалов;
сведений обо всех авторах на русском и английском языках с указанием названия вуза, организации, учреждения, должности и структурного подразделения, наличия ученой степени, ученого звания, почтового и электронного адресов каждого автора статьи;
- цветными портретными фотографиями авторов на светлом фоне (деловой стиль) в хорошем качестве в формате *.JPEG;

– по желанию автора в статье могут быть указаны его профили в системах цитирования и другие сведения (профили в РИНЦ, ORCID, Scopus, в других системах цитирования, можно предоставить ссылку на личную страницу в Интернете, включая страницы в социальных сетях).

Обращаем Ваше внимание, что вся перечисленная выше информация публикуется в журнале в открытом доступе!

5. Статьи принимаются ответственным секретарем в электронном виде в формате Microsoft Word для Windows по электронной почте nzn@istu.edu. Шрифт – Times New Roman, размер шрифта – 12 (строки через 1 интервал), перенос слов – автоматический. Параметры страницы:



отступы сверху и снизу – 2,5 см, слева и справа – 2 см, абзацный отступ – 0,6 см, ориентация страницы – книжная.

6. Объем текста – от 10000 знаков, включая пробелы, иллюстрационный материал – до 6 рисунков.

7. Статьи должны быть структурированы и выполнены по международному стандарту IMRAD. Структура статьи: индекс УДК, название статьи, фамилия, имя, отчество авторов, название учреждения, где выполнена работа, аннотация и ключевые слова на языке оригинала (русском / китайском / монгольском) и английском языках, введение, цель исследования, материал и методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, выводы или заключение, библиографический список и references, критерии авторства, конфликт интересов и сведения об авторах (вся информация предоставляется одним файлом, названным следующим образом: *Фамилия первого автора – Первые три-четыре слова названия.doc*).

8. Рекомендуемая длина названия статьи – до 100 знаков с пробелами. Название статьи должно быть лишено сокращений, аббревиатур, описывать содержание статьи точно и конкретно, при этом оно должно быть достаточно длинным, чтобы однозначно выразить главную идею статьи, и коротким настолько, чтобы ни одно слово нельзя было выбросить без потери смысла.

9. Аннотация должна отражать основную идею статьи, поскольку для большинства читателей она является главным источником информации о представленном исследовании. Объем аннотации – 1500–2000 знаков, примерная структура: цель, методы, предмет, объект и результаты исследования, выводы. Не следует ссылаться на таблицы и / или рисунки, приведенные в основном в тексте статьи, а также использованную литературу, поскольку аннотации также публикуются отдельно от статьи. Не используйте в аннотации сокращения, аббревиатуры, а также формулы, так как аннотации в большинстве баз данных, начиная с РИНЦ, публикуются в формате, исключающем отображение формул.

Ключевые слова должны отражать суть исследования, способствовать работе поисковых систем, по количеству не превышать 10 единиц, словосочетания – не более 3 единиц.

10. Формулы в тексте должны быть набраны в специальном редакторе формул. Все экспликации элементов формул необходимо также выполнять в редакторе формул.

11. Таблицы должны содержать только необходимые данные и представлять собой обобщенные и статистически обработанные материалы с указанием обозначения переменных. Каждая таблица снабжается заголовком. Формат таблиц – книжный, направление шрифта – по горизонтали.

12. Графические материалы к статье (рисунки и фотографии) представляются в минимальном количестве (не более 6 единиц) и должны быть выполнены в соответствии с требованиями к геологической графике. Выбирается масштаб, пригодный для тиражирования, а размер – не более 170×245 мм. Графические материалы должны допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров. Каждый рисунок сопровождается надписями в содержательной части и подрисуночной подписью, в которой представляется объяснение всех его элементов. Названия рисунков и подрисуночные подписи должны быть максимально краткие, основная информация предоставляется в тексте.

13. Ссылки на литературные источники приводятся в квадратных скобках в порядке возрастания. Библиографический список формируется по мере упоминания источников в тексте. Рекомендуемое количество источников в библиографическом списке – не менее 20, из них не менее 5 ссылок на статьи из иностранных журналов. При этом самоцитирование автора не должно превышать 25 % от общего количества источников и полностью исключается самоцитирование журнала. Не допускаются ссылки на законы, государственные стандарты, положения, диссертации и авторефераты, учебники и учебные пособия, справочники, словари и энциклопедии, а также геологические карты. При необходимости обращения к этим источникам ссылку на них



следует размещать в подстрочной сноске. Редакционная коллегия рекомендует в списке литературы ссылаться на статьи из журналов, входящих в международные базы данных по глобальным индексам цитирования (Scopus, Web of Science и другие).

14. Список литературы составляется в двух вариантах. В библиографическом описании статьи необходимо указывать всех авторов. Первый вариант (библиографический список) оформляется на языке источника в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 2008. Второй вариант (references) оформляется в виде транслитерации русского текста в латиницу с переводом на английский язык и служит для отслеживания цитируемости авторов. Примеры оформления источников в списках можно посмотреть на нашем сайте в разделе «Требования к статьям».

15. При подаче статьи авторами предоставляются на английском языке следующие элементы работы: название статьи, сведения об авторах, аннотация, ключевые слова, благодарности, названия таблиц и подрисуночные подписи, библиография.

16. Авторы статей должны придерживаться обязанностей, предусмотренных «Редакционной политикой журнала».

17. Редакция оставляет за собой право отклонять статьи, не отвечающие указанным требованиям. Поступающие в редакцию материалы возврату не подлежат.

18. Редакция оставляет за собой право на научное и литературное редактирование статей с последующим согласованием с авторами.

19. Представленные статьи проходят проверку на наличие заимствований.

20. Журнал выпускается с периодичностью 4 номера в год.

Внимание! Публикация статей является бесплатной.

Мы приглашаем Вас к участию в нашем проекте в качестве авторов, рекламодателей и читателей.

По вопросам публикации обращаться по адресу: 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Иркутский национальный исследовательский технический университет, редколлегия, ауд. Е-317.

Главный редактор Лобацкая Раиса Моисеевна, тел.: +7 (3952) 405115, e-mail: lobatskaya@gmail.com

Заместитель главного редактора Аузина Лариса Ивановна, тел.: +7 (3952) 405108, e-mail: lauzina@mail.ru

Заместитель главного редактора Красноштанов Сергей Юрьевич, тел.: +7 (3952) 405101, e-mail: geo_info@istu.edu

Статьи следует направлять через личный кабинет на сайте www.nznj.ru или ответственному секретарю Храмовских Виталию Александровичу по электронной почте nzn@istu.edu; тел.: +7 (3952) 405069, адрес: 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, ауд. Ж-04.



Образец оформления статьи

УДК 549.09

Минералого-технологические типы руд Томинского месторождения меди (Южный Урал)

© Е.М. Курчевская^a, М.В. Яхно^b, А.Е. Сенченко^c

^{a,c}НИИПИ «Технологии обогащения минерального сырья», г. Иркутск, Россия

^bИркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме: Цель. Цель данного исследования заключается в изучении технологических типов руд Томинского месторождения меди, а также минерального состава вмещающих пород и руд каждого из трех типов, выявлении минералогических и структурно-текстурных особенностей руд, выявлении взаимосвязи изменения рудной минерализации и степени метаморфизма для каждого типа руд. **Методы.** Рудные тела Томинского медно-порфирового месторождения, залегающие в диоритах и кварцевых диоритах, представляют собой прожилковые и прожилково-вкрапленные скопления в зонах дробления. На месторождении широко развиты метасоматиты кварц-серicitовой формации. Изучение типов руд проводилось с использованием микроскопов. **Результаты.** В результате выделено три геолого-технологических типа руд в пределах Томинского месторождения. Первый тип представлен первичными сульфидными рудами, которые наблюдаются в среднем ниже глубины 50–55 м. По составу это хлорит-мусковит-кварцевые метасоматиты. Вмещающие породы представлены серицитизированными, хлоритизированными и карбонатизированными диоритами. В составе руд преобладают халькопирит и пирит. Практически вся медь содержится в халькопирите. Второй тип – это рудные зоны вторичного сульфидного обогащения. Этот тип сложен первичными и вторичными сульфидами меди. Все породы аргиллизированные и представлены метасоматитами различного состава. Все виды пород несут в себе рудную минерализацию. К третьему типу относятся окисленные руды, которые образуют зону окисления месторождения. Они делятся на три подтипа: глинистые, глинисто-щебнистые и щебнистые руды. Глинистые руды залегают в самых верхних частях коры выветривания, глинисто-щебнистые руды слагают центральную ее часть, а руды в щебнистых образованиях отмечены в нижних горизонтах. Представлено петрографическое описание каждого из типов. Выявлены минералогические и структурно-текстурные особенности руд. В результате изучения петрографического состава каждого типа руд установлена различная степень метаморфизма и вследствие этого – изменение рудной минерализации. **Выводы.** Прослеживается влияние метасоматических процессов, изменивших строение и минеральный состав руд. Для первого типа руды характерно наличие первичных пород – диоритов с насыщенной сульфидной вкрапленностью и с незначительными метасоматическими изменениями. В зоне вторичного обогащения породы претерпели интенсивное метасоматическое изменение. Породы этой зоны насыщены гидроксидами железа. Для зоны интенсивного выветривания характерны глинистые и хлоритизированные породы. Рудная минерализация представлена исключительно окисленными минералами. Сульфиды единичны. Различия в минеральном составе трех типов руд влияют на выбор способов переработки руды в пределах Томинского месторождения.

Ключевые слова: Томинское месторождение, медно-порфировое оруденение, метаморфизм, технологические типы руд

Благодарности:

Mineralogical and technological types of Tominskoye deposit copper ores (Southern Ural)

© Elena M. Kurchevskaya^a, Marina V. Yakhno^b, Arkady Y. Senchenko^c

^{a,c}NIPI TOMS (Scientific Research and Design Institute “Technologies of Minerals Separation”), Irkutsk, Russia

^bIrkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract: Purpose. The purpose of the article is investigation of the technological types of Tominskoe copper deposit ores; examination of the mineral composition of the host rocks and ores of each of the three types; identification of mineralogical and structural-textural features of ores, research of the relationship of mineralization and metamorphism intensity alteration for each type of ore. **Methods.** Ore bodies of the Tominskoye porphyry copper deposit occurring in the diorites and quartz diorites are veinlet and porphyry-stringer clusters in crush zones. The deposit is characterized with the predominant metasomatic rocks of quartz-sericite formation. **Results.** Three geological and technological ore types are distinguished within the Tominskoye field. The first type is represented by primary sulfide ores, which occur on average lower than 50–55 m depth. By composition they are chlorite-muscovite-quartz metasomatic rocks. The host rocks are repre-



sented by sericitized, chloritized and carbonated diorites. Chalcopyrite and pyrite are predominant elements in ore composition. Chalcopyrite contains carbonated diorites. Chalcopyrite and pyrite are predominant elements in ore composition. Chalcopyrite contains almost all of the copper. The second type includes the ore zones of secondary sulfide concentration. This type is composed of primary and secondary copper sulfides. All the rocks are dirty argillaceous and are represented by metasomatic rocks of different composition. All types of rocks feature ore mineralization. The third type covers oxidized ores, which form the oxidation zone of the deposit. They are divided into three subtypes: clay, claydetrital and detrital ores. Clay ores occur in the uppermost parts of the crust of weathering. Clay-detrital ores compose its central part, while ores in detrital formations have been found in the lower horizons. Each of the type is given a petrographic description. Mineralogical and structural-textural features of ores are identified. The study of the petrographic composition of each type of ores showed a varying degree of metamorphism that resulted in changes in ore mineralization. **Conclusions.** The influence of metasomatic processes is indicated. The last have changed the structure and mineral composition of ores. The presence of primary rocks – diorites with saturated sulfide impregnation and insignificant metasomatic alterations is typical for the first type of ore. The rocks in the zone of secondary concentration have undergone intense metasomatic alteration. These rocks are saturated with iron hydroxides. The presence of clay and chloritized rocks characterize the zone of intense weathering. Ore mineralization is represented exclusively by oxidized minerals. Sulfides are rare. Variations in the mineral composition of the three types of ores influence the choice of ore processing methods at Tominskoye ore deposit.

Keywords: Tominskoye field, porphyry copper mineralization, metamorphism, technological ore types

Acknowledgements:

Далее идут **текст статьи** (в виде: введение, цель исследования, материалы и методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, заключение), **список литературы** (references), **заявленный вклад авторов** (contribution of the authors) и **конфликт интересов** (conflict of interests).

Сведения об авторах / Information about the authors

Фото
автора

Курчевская Елена Михайловна,
старший научный сотрудник,
НИИПИ «Технологии обогащения минерального сырья»,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83а, Россия,
e-mail: kurchevskaya@tomsgroup.ru

Elena M. Kurchevskaya,
Senior Researcher,
Scientific Research and Design Institute “Technologies of Minerals Separation”,
83a Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: kurchevskaya@tomsgroup.ru

Фото
автора

Яхно Марина Владиславовна,
старший преподаватель кафедры геологии и геохимии полезных ископаемых,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉ e-mail: ymar@istu.edu

Marina V. Yakhno,
Senior Lecturer of the Department of Geology and Geochemistry of Minerals,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉ e-mail: ymar@istu.edu

Фото
автора

Сенченко Аркадий Евгеньевич,
генеральный директор,
НИИПИ «Технологии обогащения минерального сырья»,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83а, Россия,
e-mail: senchenko@tomsgroup.ru

Arkady E. Senchenko,
CEO,
Scientific Research and Design Institute “Technologies of Minerals Separation”,
83a Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: senchenko@tomsgroup.ru

НАУКИ О ЗЕМЛЕ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

12+

Научный журнал

Том 43 № 4 (73) 2020

Дизайнер А.А. Хохряков
Редактор Ф.А. Посысоева
Перевод на английский язык В.В. Батицкой
Компьютерная верстка Ф.А. Посысоевой

Издание распространяется бесплатно

Выход в свет 30.12.2020 г. Формат 60×90/8.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 8,5.
Тираж 500 экз. Зак. 220а. Поз. плана 4н.

Отпечатано в типографии Издательства
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет»,
адрес типографии: 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Адрес редакции, учредителя и издателя:
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет»,
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83