



Рис. 6. Детальные схемы предполагаемых присдвиговых pull apart зон: А — площадь рудопроявления Кон Ра, Б — перспективная на оруденение площадь в зоне разлома F 5. Условные обозначения см. на рис. 5

разлом разделяет два мелких блока. Нижний западный блок имеет плотность от 2,50 до 2,59 г/см³, поднятый восточный блок имеет плотность от 2,68 до 2,86 г/см³. Разлом прослежен до глубины 400 м.

Выводы

Из приведенных выше исследований можно сделать следующие выводы:

1. В перспективной рудной площади Кон Ра Центрального Вьетнама выделено два тектонических блока, сложенных комплексами метаморфических пород протерозоя-кембрия и интрузиями триасовых гранитов, которые отличаются составом и строением вулканогенно-осадочно-метаморфических пород. Потенциальное месторождение с Cu-U-Au минерализацией расположено в блоке, включающем метакarbonатные породы, нарушенном триасовыми разломами и включающим скарны.

2. Рудомещающие образования испытали региональные деформации трех этапов. В докембрии и раннем палеозое произошло интенсивное сжатие и сформировались сложные складки разных порядков. Во втором этапе (силуре-S) происходило в основном частичное переплавление (анатексис) метаморфических пород комплекса Хамдык. В третьем этапе триасе-кайнозое (Т-KZ) произошли хрупкие деформации в зонах взбросов и сдвигов и, вероятно, сформировалась рудная минерализация.

3. Локальные зоны pull apart правосторонних сдвигов, наложенных на сложные участки экзоскарнов триасовых гранитов Хайван представляются рудолокализирующими U-Au-Cu оруденение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Главное управление геологии и минералов Вьетнама. Геология и минеральные ресурсы листа Дакто (D-49-XII). Карта геологии и минеральных ресурсов Вьетнама (1: 200 000), Ханой, 1998. — 115 с.
2. До, М.Ф. Сборник тезисов докладов I Молодежной конференции ЦНИГРИ / М.Ф. До, З.Х. Нгуен. — М., 2020. — С. 82—85.

3. До, М.Ф. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка / М.Ф. До, П.А. Игнатов, Т.Х. Фан, З.Х. Нгуен, Д. Чан, 2020. — 63(2). — С. 73—85 <https://geology.mgri.rggru.ru/jour/article/view/623>.

4. До, М.Ф. Тезисы докладов II Молодежной конференции ЦНИГРИ / М.Ф. До, П.А. Игнатов, Т.Х. Фан. — М., 2021. — С. 37—42.

5. Никитин, А.А. Теоретические основы обработки геофизической информации. Учебное пособие / А.А. Никитин, А.В. Петров. — М., 2017. — 127 с.

6. Никитин, А.А. Комплексный анализ и комплексная интерпретация геофизических полей. Учебное пособие / А.А. Никитин, А.А. Булычев. — М., 2015. — 88 с.

7. Петров, А.В. Обработка и интерпретация геофизических данных методами вероятностно-статистического подхода с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3Д» / А.В. Петров, Д.Б. Юдин, Хоу Соели // Вестник краунц. Науки о Земле. — 2010. — № 2. — С. 126—132.

8. Фан, Т.Х. IX Международная научная конференция молодых ученых: Молодые — Научкам о Земле. Москва, 23 октября 2020 г. / Т.Х. Фан, А.В. Петров, М.Ф. До. — М., 2020. — Т. 4. — С. 293—296.

9. Фан, Т.Х. Тезисы докладов II Молодежной конференции ЦНИГРИ / Т.Х. Фан, А.В. Петров, М.Ф. До. — М., 2021. — С. 123—127.

10. Чан, Д. Отчет об оценке минеральных ресурсов меди в районе Кон Ра / Д. Чан. Фонды Вьетнамского Министерства природных ресурсов и экологии. — Ханой, 2019. — 109. с.

11. Dinh, Quang Sang. Petrographic characteristics and zircon UPb geochronology of granitogneiss rocks in the Chu Lai — Kham Duc area (Quang Nam province) / Sang Dinh Quang. Science & technology Development Journal: Natural Science, Vol 1, issue 6, 2017. С. 258—272.

12. Hai, Thanh Tran. The Tam Ky-Phuoc Son Shear Zone in central Vietnam: Tectonic and metallogenic implications / Tran Hai Thanh, Zaw Khin, J.A. Halpin, Manaka Takayuki, S. Meffre, Lai Chun-Kit, Lee Youjin, Le Hai Van, Dinh Sang // Gondwana Research. — 2014. — № 26. — С. 144—164.

© Коллектив авторов, 2021

До Минь Фьонг* // dominhphuong.dkt@gmail.com

Игнатов Петр Алексеевич // ignatovpa@mgri.ru

Фан Тхи Хонг // phanthihong@humg.edu.vn

Нгуен Зуи Хынг // nguyenduyhung@humg.edu.vn

Чан Ван Тиен // tiendcb@gmail.com

УДК 553. 550.8.11

Оникиенко Л.Д., Верчеба А.А., Соколов С.А.
(МГРИ-РГГРУ)

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДОКЕМБРИЙСКОГО ЗОЛОТОСУЛЬФИДНО-КРЕМНИСТОГО ОРУДЕНЕНИЯ СТАРООСКОЛЬСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

В статье рассмотрены докембрийские формации железистых кварцитов, которые содержат более 60 % мировых запасов и ресурсов железной руды и широко проявлены на всех континентах в пределах зеленокаменных поясов. Не-

которые полосчатые железорудные формации (BIF) являются золотосодержащими. Комплексный состав руд месторождений данной формации объясняется геологическими условиями их формирования и сохранности на разных этапах проявления субаквальных магматических процессов. Это показано на примере палеопротерозойских железисто-кремнистых пород Старооскольского рудного района. **Ключевые слова:** формация стратифицированных железистых кварцитов, Трансваальская супергруппа BIF, Курская магнитная аномалия, железисто-кремнистая и золото-сульфидно-кремнистая минерализация.

[Onikienko K.D.], Vercheba A.A., Sokolov S.A. (MGRI-RGGRU)

GEOLOGICAL CONDITIONS OF FORMATION OF A PRECAMBRIAN GOLD SULPHIDIC AND SILICEOUS MINERALS OF THE STAROOSKOLSKY ORE AREA

*In article Precambrian formations of ferriferous quartzites which contain more than 60 % of world reserves and resources of iron ore are considered and widely shown on all continents within greenstone metamorphic belts. Many banded iron ore formations (BIF) are gold-bearing. The complex composition of ores of fields of this formation speaks about geological conditions of their formation and safety during different stages of manifestation of submarine magmatic processes. It is shown on an example of paleoproterozoic ferriferous and siliceous mineralization of the Starooskolsky ore area. **Keywords:** a formation of the banded ferriferous quartzites, Transvaal supergroup BIF, Kursk magnetic anomaly, a ferriferous — siliceous and gold sulphidic — siliceous mineralization.*

Крупнейшие провинции стратифицированных железистых кварцитов мира, относящихся к полосчатым железистым формациям (banded iron formation BIF) сформированы в раннепротерозойский период (2,7–1,8 млрд лет).

Это плотные скопления чередующихся слоев черного и красного цвета, которые содержат около 60 % мировых запасов и ресурсов железной руды [1, 10]. В это же время появились оксиды марганца в виде многослойных залежей, составляющих большинство основных мировых ресурсов марганцевых руд. Впервые появляются новые минералы в окисленных рудах меди, никеля, золота и урана.

Появление мощных толщ железистых кварцитов и новых минеральных видов связывают с появлением свободного кислорода в атмосфере Земли (Great Oxidation Event, GOE) [12].

Ко времени 2,5–2,2 млрд лет назад объем кислорода в атмосфере увеличился с нуля до более 1 % от современного уровня, навсегда при этом изменив поверхность Земли. Доказательства существования GOE основываются на большом количестве исследований горных пород и минералов, возраст которых охватывает продолжительный период земной истории — примерно от 2,5 до 2 млрд лет. В этот период происходил перевод Fe^{2+} в Fe^{3+} и вместо растворимых бикарбонатов в океанических бассейнах возникли слаборастворимые гидроксиды железа.

Большинство специалистов согласны с гипотезой Великого кислородного события, что подтверждается аналитическими данными по фракционированию изотопов серы. Данные по изотопам серы служат точкой отсчета для начала кислородной революции 2,4 млрд лет назад [12].

Этот геологический период ознаменовался возникновением первых суперконтинентов и, следовательно, началом тектонического трансфера литосферных плит. Во многих регионах отложения BIF накапливались в прогибах с приглушенным вулканизмом [11, 13].

Наиболее важные районы распространения отложений BIF — группа Меномини оз. Верхнее (США), трог Лабрадор (Канада), авлакоген Хамерсли (Австралия), синеклиза Трансвааль (Южная Африка), Украинский кристаллический щит, Воронежский кристаллический массив, Курская магнитная аномалия (КМА) (Россия), Минас-Жерайс (Бразилия) [2, 5, 10].

В районе КМА полосчатая железистая формация сложена как хомогенными, так и обломочными отложениями, среди которых выделены ритмопачки железистых кварцитов мощностью от 250 до 1500 м. По составу и строению железорудных пород они сформированы в субаквальных фациальных условиях на окраине протоконтинента.

Следует полагать, что формирование BIF связано с накоплением осадков в пририфтовых бассейнах и метасоматозом базитов. Рудные залежи ленточной формы обусловлены эндогенной энергетической разгрузкой и пространственно приурочены к перколяционной сети трансформных разломов и структур pull-apart [11].

Основным структурным фоном в районах развития железистых кварцитов является сочетание эллипсоидных тектонических блоков таконитов с полосчатыми железорудными комплексами. В плане лентообразные залежи железистых кварцитов криволинейны и сгруппированы в компактные линейные зоны субогласного залегания с вмещающими породами [11].

Важное значение в минеральном составе полосчатых железистых формаций имеют сопутствующие полезные компоненты, например, золото. Установлено, что во многих рудных провинциях древних платформ проявление золотой минерализации увязано с эволюцией накопления железисто-кремнистых пород в истории Земли. Ранние эксгальационно-осадочные концентрации железа были образованы в акватории океанических палеобассейнов. Закономерная смена в зеленокаменных поясах основного вулканизма кальциево-щелочным сопровождалась накоплением золота из-за изменения геодинамических обстановок растяжения микроконтинентов на сжатие. На этом этапе в остаточных прогибах могли образоваться золотоносные кремнисто-железистые породы [3, 7, 11].

На юге Африки в Зимбабве расположена группа месторождений золота в относительно небольших зеленокаменных поясах (трогах). Более крупные месторождения, как правило, комплексные и сочетают

несколько типов месторождений. В зеленокаменном поясе Амалия в Южной Африке в отложениях ВІF разрабатываются три золоторудных месторождения в железистых кварцитах [13].

Полосчатые железорудные образования докембрия в Южной Африке также развиты в бассейне Трансвааль, где они входят в состав пород супергруппы Трансвааль. Стратиграфическое положение и генезис пород железорудной формации постоянно уточняется. Возраст вмещающих полосчатые железистые формации платформенных образований группы Трансвааль оценивается в 2,65–2,05 млрд лет, ныне он уточнен до 2,48 млрд лет [10].

В основании докембрийских отложений, слагающих ритмопачки пород супергруппы Трансвааль снизу вверх по разрезу выделены: лавовые потоки базальтового коматиита, кремнистые сланцы, железистые кварциты (породы ВІF) и лавовые потоки базитов в верхней части разреза. В составе пород ВІF присутствуют тонкие прослои конгломератов, аргиллиты, слюдястые сланцы и кварциты. Прослои конгломератов маломощные, не выдержанные по простиранию, с мелкой галькой содержат золотую минерализацию.

Породы Трансваальского бассейна, называемые «кремнистыми сланцами» (неудачный перевод термина *sheft* на русский язык), представляют собой мозаику взаимно сросшихся кварцевых зерен, которая отличается криптокристаллическим и микрокристаллическим строением. В современной литературе подобные кремнистые породы именуются силицитами.

По простиранию силициты и железистые кварциты переходят в слоистые, грубозернистые кислые туфы (кварц-серицитовые сланцы) и агломераты. Последние, как правило, обогащены алюминием и местами переходят в хлоритовые, иногда тальковые сланцы, соответствующие основным туфам. Фациальные переходы железистых кварцитов и силицитов в вулканогенно-осадочные породы доказывают связь их формирования с палеовулканическими процессами.

Особенности состава и строения пород полосчатой железорудной формации в бассейне Трансвааль свидетельствуют, что образование пород формации ассоциируется с этапами вулканической деятельности, а сами породы являются их составной частью. Установлено два этапа вулканической активности в регионе: первый — формирование пород эффузивного вулканизма, второй этап — формирование пород и руд, характерных для эксплозивной и газо-гидротермальной деятельности вулканических аппаратов [7, 15]. Важно отметить, что с докембрийскими отложениями железисто-кремнистой формации бассейна Трансвааль пространственно связано проявление золотой минерализации и золотого оруденения.

Для прогнозирования золотого оруденения в обломочных фациях кварцитов можно провести сопоставление минерального состава и строения пород формаций Трансвааля и Старооскольского железорудного района КМА. Отдавая должное различиям в масштабах проявления золотого оруденения названных реги-

онов можно, тем не менее, увидеть некоторые черты сходства этих образований.

Перспективными золотоносными образованиями являются полосчатые железистые кварциты. Особенности локализации минерализации золота в породах железисто-кремнистой формации исследованы на территории Старооскольского железорудного района КМА, где сосредоточены крупные месторождения железисто-кремнистых руд [5, 6].

Авторами проведено минералого-петрографическое изучение образцов сульфидизированных обломочных пород, отобранных из железистых кварцитов месторождения Лебединское.

Разработка пластовых залежей железистых кварцитов и связанных с ними богатых железных руд ведется шахтным способом (Коробковское месторождение) и карьерами (Лебединское, Стойленское и др.). Лебединский и Михайловский ГОК являются крупнейшими в мире.

В геологическом строении Старооскольского железорудного района принимает участие сложноскладчатый метаморфический эффузивно-осадочный комплекс пород докембрия в составе обоянской серии нижнего архея, михайловской серии верхнего архея, курской и оскольской серий нижнего протерозоя. Этот комплекс прорван разновозрастными интрузивами и дайками ультраосновного, основного и кислого составов.

Нижняя подсвита стойленской свиты сложена кварцито-песчаниками, содержащими прослои и линзы конгломератов, метагравелитов, кварцитов и высокоглиноземистых кварц-серицитовых сланцев, верхняя — преимущественно филлитовидными кварц-серицитовыми, кварц-биотитовыми и кварц-двуслюдными сланцами. В верхах разреза также присутствуют прослои нерудных кварцитов.

Горизонты кварцитов и конгломератов имеют хорошо выраженное простирание, их можно считать маркирующими. Мощность горизонтов меняется в широких пределах, достигая величины 100–150 м.

Обломочные породы стойленской свиты в отдельных участках района сульфидизированы, и только в таких минерализованных преимущественно пиритом породах установлены значимые содержания золота. Базальные кварцевые конгломераты, мощностью 1,0–1,3 м содержат золото от 1,0 до 3,0 г/т. Относительно повышенная золотоносность (до 6 г/т) отмечена в конгломератах южного фланга Коробковского месторождения. Золотоносные конгломераты сильно деформированы и метаморфизованы, содержат большие количества циркона и ильменита (до 15 %), а среди сульфидов кроме пирита заметно возрастает роль пирротина [4].

В горных выработках месторождений наблюдается пространственная связь железокремнистого оруденения с золотоносными обломочными породами. Так, в геологическом отношении залежи железных руд приурочены к коробковской свите курской серии (PR₁ kr). В породах той же серии — в нижележащих

кремнистых породах стойленской свиты располагаются горизонты обломочных, несущих золотую минерализацию (PR₁ st).

Во вмещающих породах месторождений золото тонкое, с высокой концентрацией ртути. Например, особенностью строения стойленской свиты курской серии КМА является присутствие линз кремнистых обломочных пород, содержащих сульфидную минерализацию, а также золото. В сульфидизированных прослоях ряд элементов достигает высоких содержаний: золота до 32 г/т, серебра до 100 г/т, урана до 0,35 %, циркония до 6 %, титана до 6 %, сурьмы и селена до 100 г/т [4].

Результаты минералого-геохимических исследований металлонесных кремнистых обломочных пород Коробковского, Лебединского, Стойленского и Александровского месторождений Старооскольского железорудного района Курской магнитной аномалии показали их геохимическую специализацию на U, Th, Y, TR, Zr, Ti, P, As, Sb, Se, Co, Ni, Au, Ag при высокой вариативности содержаний перечисленных элементов.

Многочисленные исследования геологов КМА позволили выявить в железисто-кремнистых породах новый для этого региона тип оруденения — золотосодержащие конгломераты, приуроченные к Лебединско-Стойленской рудоносной зоне [3, 4]. Изучение рудоносности обломочных пород на площади промышленного железорудного района весьма перспективно, учитывая значительный геохимический потенциал содержащихся в них полезных компонентов (U, Au, Y, TR, Zr и т.д.), которые могут быть попутно извлечены при комплексном освоении крупнотоннажных железорудных месторождений.

Таким образом, так же как и для других регионов, сложенных докембрийскими породами железисто-кремнистой формации, для Старооскольского железорудного района установлена пространственно-генетическая связь двух природных типов минерализации — золотосульфидно-кремнистого и железисто-кремнистого.

Немаловажное значение в установлении закономерностей локализации минерализации золота в железисто-кремнистом оруденении имеют проведенные авторами детальные исследования образцов из прослоев конгломератов с использованием рудной микроскопии и электронно-зондового анализа.

Были изучены «голубые гальки» конгломератов и гравелитов из старооскольских обломочных пород и девяти образцов из конгломератов Трансваальского бассейна.

Установлена природа так называемых «окатанных» галек, имеющих голубой, серо-голубой, серый цвет, заключенных в кварц-серицит-хлоритовом цементе и имеющих размеры не более трех-пяти сантиметров в диаметре. Гальки имеют округлую или овальную форму, отчетливо опалесцируют в образцах. Внутреннее строение монокристалльное, отчетливо зональное. Исследования показали их кварцевый состав.

Минералого-петрографическое изучение конгломератов и гравелитов в кварцитах позволило устано-

вить миндалекаменную текстуру описываемых образований. Присутствие таких кварцевых обособлений в конгломератах связано с эксплозивными процессами разрушения подстилающих конгломераты вулканитов, несущих в своем составе две разновидности кварца — фенокристаллы белого цвета и обособления в виде миндалин голубоватой окраски.

Интересное наблюдение сделано академиком Царевым, отметившим, что количество золота в конгломератах кремнистых породах Южной Африки возрастает с увеличением в нем голубых галек кварца [16].

При петрографическом описании гальки протерозойских пород Южной Африки им отмечено, что в составе галек присутствует жильный кварц, стекловатый белый, пятнистый серый, черный или синеватый, сильно опалесцирующий, присутствуют гальки кварцитов, черных и зеленых полосчатых кремней, красных яшм, кварцевых порфиров и зеленых сланцев.

Полученные в последние годы новые данные о строении кварцевых галькоподобных образований и о так называемой пиритовой «картечи» в них, позволили сделать вывод о их образовании в мощных газовой-гидротермальных рудоносных потоках, поступающих из недр Земли одновременно с формированием вмещающих обломочных пород. Им обоснована новая модель формирования месторождения, генетически связанного с расслоенным магматическим очагом, развивавшимся под воздействием глубинных трансмагматических флюидов [8, 9].

Таким образом, установленная пространственно-генетическая связь двух типов минерализации — золотосульфидно-кремнистой и железисто-кремнистой в обрамлении Воронежского кристаллического массива, может быть сопоставлена с подобными соотношениями типов оруденения в кремнистых сланцах на территории Трансваальского кратона Южной Африки.

Генезис золотого оруденения в настоящее время остается дискуссионным. Геологи не могут игнорировать факт четкой стратификации рудных залежей и одновременно явно гипогенно-гидротермальный характер золотой минерализации, локализованной в цементе обломочных пород.

Академиком А.Д. Щегловым была выдвинута гипотеза полигенного осадочно-гидротермального генезиса руд. В этой модели сравнивалось образование кремнистых пород Трансваальского кратона с условиями образования руд Балейского района Забайкалья (Россия). Отмечалась отчетливая приуроченность оруденения к крупным рифтовым впадинам, возникшим в связи с процессами тектономагматической активизации соответственно в раннепротерозойское (Трансвааль) и позднемезозойское (Балей) время.

При растворении сульфидов золото переходило в раствор в виде комплексов AuHS⁰, Au(HS)²⁻, мигрировавших в породах вплоть до снижения кислотности растворов. Появилось новое представление о существовании рудно-кремнистых комплексов типа K₃[AuSiO₅], принимавших участие в концентрации золота в кварцевых расплавах [15].

Генезис железокремнистого докембрийского оруденения всего мира в настоящее время увязывается с процессами вулканогенно-осадочного газо-гидротермального рудогенеза, в том числе и генезис железисто-кремнистых руд Старооскольского района КМА [6].

Приведенные данные о происхождении железных руд в пределах докембрийской формации бассейна Трансвааля также говорят о вулканогенно-гидротермально-осадочном происхождении таких образований.

По мнению отечественных исследователей, аналогами конгломератов Трансвааль являются металлоносные обломочные породы Воронежского кристаллического массива. Сходство таких образований в разных районах мира позволяет уверенно говорить об участии пирокластических вулканических образований в формировании обломочных рудоносных пород докембрия.

Согласно результатам проведенных исследований, происхождение металлоносных обломочных пород «оскольского типа» авторы рассматривают как продукты эксплозивной поствулканической газо-гидротермальной деятельности, связанной с проявлениями вулканизма позднерейского и раннепротерозойского возраста.

Результаты проведенных исследований следует учитывать и при определении поисковых предпосылок не только золотого, но и золотоуранового оруденения в докембрийских породах QPC (quartz-pebble-conglomerate) [14]. К важным факторам, определяющим пространственную связь золотоурановых скоплений с докембрийскими железистыми кварцитами, относятся:

— залегание пластов кварцевых конгломератов в базальной части свиты рудовмещающих пород;

— наличие в разрезе вмещающих пород мономиктовых и олигомиктовых конгломератов в основании базальных ритмов осадочных пород;

— приуроченность к локальным депрессиям и синклинальным складкам (грабен-синклиналям), конседиментационным зонам увеличения мощности пород QPC, осложненных тектоническими нарушениями;

— присутствие в основании базальных горизонтов кварцевых конгломератов с большим содержанием сульфидов (пирита или пирротина) в цементе;

— наличие в отложениях QPC своеобразных кремнистых обособлений, из подстилающих горизонты обломочных пород вулканогенных пород, метариолитов, имеющих за счет этого голубовато-серый цвет.

Изложенные выше фактические данные, характеризующие проявления вулканизма в период формирования кремнистых пород, говорят, по мнению авторов, о важной роли вулканических и поствулканических процессов как в образовании самих обломочных пород, так и в их насыщенности рудообразующими компонентами.

Новые данные позволили предположить гидротермально-осадочную модель образования золотоносных кремнистых обломочных пород. Прежде всего, отмечается тесная пространственно-временная связь железисто-кремнистого и золотого оруденения в районах

обрамления Воронежского кристаллического массива и железисто-кремнистых пород зеленокаменного пояса Южной Африки.

Заключение

Месторождения золота железисто-кремнистых пород достаточно распространены и занимают определенную геологическую позицию. Это выражается в следующем:

— промышленное оруденение в железисто-кремнистых формациях в зеленокаменных поясах приурочено к линейным трогам, ориентированным вдоль осевой линии зеленокаменных поясов;

— железорудные горизонты, как правило, подстилаются толщей кальциево-щелочных метабазальтов или их туфов вулканической островной дуги;

— золотосодержащие залежи в породах ЖКФ проявлены в районах распространения месторождений вулканогенных массивных сульфидных руд;

— золотая минерализация тяготеет к гематитовым прослоям в сланцах, пластам сульфидной или карбонатной фаций, кремнистым обломочным породам и имеет полосчатые текстуры, представлена вкрапленным и прожилково-вкрапленным типом руд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бергман, И.А. Железисто-кремнистый рудогенез раннего докембрия / И.А. Бергман // Минеральное сырье. — № 28. — М.: ВИМС, 2013. — 343 с.
2. Верчеба, А.А. Особенности условий формирования и перспективы промышленной рудоносности древних конгломератов Старооскольского рудного района КМА / А.А. Верчеба, Л.Д. Оникиенко // Матер. II Всеросс. науч. конф. — Старый Оскол. — 2015. — С. 172–175.
3. Константиновский, А.А. К проблеме обнаружения месторождений золота в древних конгломератах России / А.А. Константиновский // Литология и полезные ископаемые. — 1994. — № 2. — С. 119–121.
4. Кушнеренко, В.К. Докембрийские металлоносные конгломераты КМА. Воронежский кристаллический массив / В.К. Кушнеренко // Информационный сборник. Матер. по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. — Вып. 157. — М., 2011. — С. 117–121.
5. Оникиенко, Л.Д. Геологические особенности вулканических и поствулканических процессов в формировании богатых железокремнистых руд и золотого оруденения обрамления Воронежского кристаллического массива / Л.Д. Оникиенко, А.А. Верчеба // Матер. Шестой Междунар. науч.-практ. конф. Наука и образование: отечественный и зарубежный опыт. Сб. статей. — Белгород: Издательство ООО ГиК, 2017. — 209 с. ISBN 978-5-906520-94-4. — С. 160–162.
6. Оникиенко, Л.Д. Осадочно-гидротермальная модель образования железокремнистых и золотоурановых месторождений / Л.Д. Оникиенко, А.А. Верчеба // Матер. XIII Междунар. науч.-практ. конф. «Новые идеи в науках о Земле». — М.: ВНИИГеосистем, 2017. — С. 235–236.
7. Оникиенко, Л.Д. Геология, минералогия и условия образования «оскольских» золотоносных конгломератов КМА / Л.Д. Оникиенко, С.С. Юганов, Д.О. Захаров, М.А. Иванов // Разведка и охрана недр. — 2012. — № 12. — С. 3–7.
8. Портнов, А.М. О возможном гипогенном происхождении конгломератов Витватерсранда / А.М. Портнов // Докл. АН. — 1978. — Т. 239. — № 3. — С. 664–667.
9. Портнов, А.М. Глубинные золотоносные реки Земли / А.М. Портнов // Наука и жизнь. — 2000. — № 12. — С. 56–59.
10. Савко, А.Д. Железисто-кремнистые формации континентов — новые историко-минералогические данные о распределении, возрасте, генезисе / А.Д. Савко, Л.Т. Шевырёв // Вестник ВГУ. Серия Геология. — 2017. — № 3. — С. 5–17.

11. Старостин, В.И. Металлогения / В.И. Старостин. — М.: Изд-во КДУ, 2012. — 560.
12. Хейзен, Р. История Земли: от звездной пыли — к живой планете / Р. Хейзен. — М.: Альпина нон-фикшн, 2018. — 458 с.
13. Шарафелдин, Х.Э. Перспективы золотоносности железисто-кремнистой формации Египта и КМА / Х.Э. Шарафелдин, А.А. Верчеба, Л.Д. Оникиенко // Маркшейдерия и недропользование. — 2019. — № 3. (101). — С. 10–15.
14. Шумилин, М.В. Историческая металлогения урана (опыт глобального анализа) / М.В. Шумилин. — Иркутск: изд. ООО «Репро-центр», 2015. — 255 с.

15. Щеглов, А.Д. Генетическая модель месторождений Витватерсранд и проблема золотоносности конгломератов / А.Д. Щеглов // Отечественная геология. — 1996. — С. 47.
16. Царев, Д.И. Металлоносные псевдоконгломераты Витватерсранда / Д.И. Царев // Руды и металлы. — 2000. — № 3. — С. 70–82.

© Оникиенко Л.Д., Верчеба А.А., Соколов С.А., 2021

Оникиенко Людмила Дмитриевна

Верчеба Александр Александрович // aa_ver@mail.ru
Соколов Сергей Александрович // sokolovsa@mgri.ru

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 556.639; 556.38

Кононченко Е.В., Петраш А.Б. (ФГБУ «Гидроспецгеология»), Дорофеев А.Н. (ГК «Росатом»)

МОДЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ КАСКАДА ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОДОЕМОВ-НАКОПИТЕЛЕЙ ПАО «ППГХО» НА КАЧЕСТВО ПОДЗЕМНЫХ ВОД, ОТБИРАЕМЫХ ВОСТОЧНО-УРУЛЮНГУЙСКИМ ВОДОЗАБОРОМ

*На основе комплексного анализа природно-техногенных условий разработана трехмерная геомиграционная модель. Доказано отсутствие на настоящее время воздействия каскада промышленных водоемов на качество подземных вод, отбираемых водозабором, и дан долгосрочный прогноз распространения загрязнения. **Ключевые слова:** промышленные водоемы-накопители, численное моделирование, миграция загрязнения, водозабор, подземные воды.*

Kononchenko E.V., Petras A.B. (Hydrospetsgeology), Dorofeev A.N. (Rosatom)

MODEL ANALYSIS OF PIMCU INDUSTRIAL NUCLEAR WASTE WET STORAGE CASCADE IMPACT ON QUALITY OF GROUNDWATER EXTRACTING BY VOSTOCHNO-URULYUNGUISKI WATER INTAKE BASED

*Based on complex analysis of natural and industrial conditions 3D solute transport model was made. Absence at present of industrial wet storage cascade impact on quality of groundwater extracting by water intake was proved and long-term forecast of contamination transport with groundwater flow was made. **Keywords:** industrial wet storage for nuclear waste, numerical modeling, solute transport, water intake, groundwater.*

Введение

Предприятие Приаргунское — производственное горно-химическое объединение (ПАО «ППГХО»), располагается в Читинской области. Промышленный

узел, включающий основные производства, г. Краснокаменск и вспомогательные предприятия функционируют с 1968 г. Единственным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Краснокаменск и горно-химического комбината является водозабор подземных вод (ПВ) Восточно-Урулюнгуйского месторождения. Он расположен в долине р. Урулюнгуй, ниже по направлению потока ПВ от всех потенциальных источников загрязнения, что ставит вопрос об оценке воздействия техногенных объектов на качество ПВ в число приоритетных. Дополнительным осложняющим фактором является практически повсеместное развитие естественных гидрохимических аномалий, в частности, по урану как в водовмещающих породах, так и в ПВ, вследствие наличия на рассматриваемой территории рудных и нерудных месторождений.

До недавнего времени вопрос техногенного воздействия на ПВ рассматривался только на уровне аналитических оценок, позволяющих сформировать представление о современном состоянии ПВ, но недостаточном для прогнозирования влияния на их качество отдельных объектов, расположенных на рассматриваемой территории.

Одним из наиболее спорных является вопрос о степени влияния на ПВ каскада промышленных водоемов-накопителей, расположенных в пади Широндукуй. По мнению некоторых исследователей [1] их эксплуатация в наибольшей степени влияет как на общее поднятие уровней в пади Сухой Урулюнгуй, так и на качество ПВ с негативным прогнозом на будущее питьевого водоснабжения г. Краснокаменск. Результаты работы над данным вопросом сотрудников ФГБУ «Гидроспецгеология» [5, 13] показывают, что ореолы сульфат-иона и урана, которые являются основными индикаторами загрязнения, поступающего от каскада водоемов, весьма ограничены по площади и не могут являться прямым источником загрязнения ПВ Восточно-Урулюнгуйского месторождения.

Целью настоящей работы являлась оценка воздействия каскада промышленных водоемов на ПВ, в частности, на качество вод Восточно-Урулюнгуй-