

УДК 622.323'156(571.53)
DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-2-32-39

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКА БУРОВЫХ ШЛАМОВ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТОВ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL PARTICULARITY OF DRILL CUTTINGS FROM OIL AND GAS CONDENSATE FIELDS ON THE EXAMPLE OF OBJECTS OF THE IRKUTSK REGION



А. А. Климова,
Национальный
исследовательский Томский
политехнический университет,
г. Томск
klimovalena777@mail.ru

A. Klimova,
National Research Tomsk
Polytechnic University, Tomsk



Е. Г. Язиков,
Национальный исследовательский
Томский политехнический
университет, г. Томск
yazikoveg@tpu.ru

E. Yazikov,
National Research Tomsk
Polytechnic University, Tomsk

Представлено исследование минералогического и элементного состава буровых шламов. Пробы отбирались из шламовых амбаров нефтегазоконденсатных месторождений Иркутской области – Ярактинского и Марковского. Целью исследования стало определение минералого-геохимической специфики и токсичности буровых шламов. Использовался комплексный подход с применением таких методов исследования, как рентгеновская порошковая дифрактометрия, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, сканирующая электронная микроскопия, биотестирование с применением двух тест-объектов.

По результатам исследования в минералогическом составе проб бурового шлама преобладают кварц, кальцит, доломит. Обнаружены существенные различия в минералогическом составе бурового шлама, отобранного со скважин с разным типом бурения. Геохимическая специфика исследуемых буровых шламов определялась относительно кларка верхней части континентальной коры. Элементный состав буровых шламов различен, однако элементы, концентрируемые в повышенных значениях, в основном относятся к тяжелым металлам.

Суммарный показатель загрязнения, рассчитанный по кларку концентрации, показал разную степень загрязнения исследуемых проб. Высокой степенью загрязнения обладает проба с Ярактинского месторождения, отобранная на кустовой площадке с эксплуатационными скважинами. К низкой степени загрязнения относится проба с Марковского месторождения.

Метод рентгеновской спектроскопии выявил минеральные фазы Pb, Sn, Sr, Ba Fe, Ti при исследовании проб бурового шлама. По результатам токсикологического анализа методом биотестирования исследуемый буровой шлам относится к умеренно опасным и малоопасным отходам, буровой шлам оказывает токсическое действие на микроводоросли *Scenedesmus quadricauda* и рачков *Daphia magna*

Ключевые слова: буровой шлам; шламовый амбар; кустовая площадка; нефтегазоконденсатное месторождение; элементный состав; минеральный состав; биотестирование; *Scenedesmus quadricauda*; *Daphia magna*; Иркутская область

The article presents a study of the mineralogical and elemental composition of drill cuttings. Samples were selected from sludge pits of oil and gas condensate fields of the Irkutsk region – Yarakinskoye and Markovskoye. The main aim of the research is to identify the geochemical and mineralogical particularity of drill cuttings, to determine the toxicity of this type of waste. The authors have used an integrated approach using such research methods as: X-ray powder diffraction, inductively coupled plasma mass spectrometry, scanning electron microscope, bioassay.

According to the results of the study, minerals such as quartz, calcite, dolomite prevail in the mineralogical composition of samples of drill cuttings. However, there are significant differences in the mineralogical compo-

sition of drill cuttings from wells with different types of drilling. The geochemical specificity of the studied drill cuttings was determined relative to the clark of the upper part of the continental crust. In general, the elemental composition of drill cuttings is different, but elements concentrated in elevated values relate mainly to heavy metals.

The value of the total pollution indicator calculated by the clark of concentration shows that the samples are of different degrees of pollution. A sample from the Yarakinskoye field, taken at a well pad with production wells, has a high degree of contamination. A low degree of contamination includes a sample from the Markovskoye field.

The method of X-ray spectroscopy has revealed the mineral phases of elements such as Pb, Sn, Sr, Ba Fe, Ti. According to the results of toxicological analysis using the bioassay method, the studied drill cuttings are classified as moderately hazardous and low-hazardous wastes, as drill cuttings have a toxic effect on microalgae *Scenedesmus quadricauda* and crustaceans *Daphia magna*

Key words: drill cuttings; sludge pits; well pad; oil and gas condensate field; elemental composition; mineral composition; bioassay; *Scenedesmus quadricauda*; *Daphia magna*; Irkutsk region

Введение. Техногенные потоки на нефтяном промысле в основном формируются из веществ, образующихся на этапе проведения буровых работ и строительства скважин. К таким веществам относят в первую очередь буровые отходы и химические реагенты. рядом исследователей отмечается, что строительство нефтяных и газовых скважин опасно для объектов природной среды [4; 10].

Влияние шламовых амбаров как источника поступления сточных вод и отходов бурения в окружающую среду рассмотрено в трудах А. В. Соромотина и О. Г. Савичева, И. А. Матвеевко, Д. В. Савченко [10; 17]. Шламовые амбары являются источником загрязнения окружающей среды, вследствие чего основную нагрузку принимают на себя почвенный покров, поверхностные и подземные воды, что отражено в ряде исследований [1; 4; 17].

Отходы бурения имеют свои химические характеристики, зависящие от технологии бурения (типа буровых растворов, методов бурения), состава исходных пород [15]. Буровой шлам представляет собой вырубленную породу, пропитанную буровым раствором, различными эмульгаторами, химическими добавками [7; 16]. Таким образом, химический состав буровых шламов определяется прежде всего литологическим составом разбуриваемых пород и реагентами, входящими в состав буровых растворов [3; 13].

В состав буровых шламов входят макро- и микроэлементы. Особое беспокойство вызывают такие элементы, как Ba, Ni, Co, Cu и Zn, что связано с их долговременной подвижностью [15]. Тяжелые металлы не подвергаются биологическим процессам и сохраняются в

окружающей среде, поэтому их присутствие в отходах бурения представляет проблему для состояния природной среды [14].

Как утверждает В. И. Балаба, в буровых шламах большая часть металлов находится в нерастворимой форме, как правило, в структуре кристаллической решетки минералов вмещающих пород [1]. Поэтому при исследовании буровых шламов большое внимание необходимо уделять валовому содержанию токсичных компонентов. Не менее важно учитывать подвижную форму тяжелых металлов, так как исследованиями доказано, что происходит вынос из шлама подвижных форм элементов. В результате чего буровой шлам может стать источником вторичного загрязнения [1; 6].

Целью исследования являлось изучение минералогической и геохимической специфики буровых шламов и определение наличия токсичности данного вида отходов с использованием современных методов исследований. *Объектом исследований* стал буровой шлам, образованный при бурении эксплуатационных и разведочных скважин на территории двух нефтегазоконденсатных месторождений, расположенных в Иркутской области.

Ярактинское и Марковское нефтегазоконденсатные месторождения находятся на левой стороне р. Лена в Усть-Кутском районе Иркутской области. Оператором месторождений является ООО «Иркутская нефтяная компания».

Геология. Исследуемая территория располагается в пределах Сибирской платформы, на территории Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области, входящей в со-

став Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции. Южная часть платформы выделяется поднятием – Непско-Ботубобинской антеклизой, которая содержит нефтегазоносные комплексы разного литологического состава [8].

На юго-западе Непско-Ботубобинской антеклизы открыты Ярактинское и Марковское нефтегазоконденсатные месторождения, относящиеся к терригенным вендским и карбонатным венд-кембрийским отложениям [5]. Марковское месторождение в геологическом отношении характеризуется развитием осадочных образований ордовикской системы нижнего палеозоя, перекрытых породами четвертичной системы. Продуктивный осинский горизонт, залегающий в нижней части усольской свиты, четко выделяется в разрезах всех скважин (Усть-Илимск О-48: геологическая карта: масштаб 1:1 000 000 // Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия: Ангаро-Енисейская / ред. Е. П. Миرونюк. Иркутск, 2010). Ярактинское месторождение обнаружено в 1971 г., севернее Марковского. Нефтегазоносными являются отложения непской и тирской свит подсолевой венд-кембрийской части осадочного чехла [12].

Методика исследования. Летом 2018 г. проведен отбор проб бурового шлама из шламовых амбаров Ярактинского и Марковского нефтегазоконденсатных месторождений. На Ярактинском месторождении отобраны две объединенные пробы бурового шлама из шламовых амбаров, расположенных на двух кустовых площадках. Первая кустовая площадка оборудована эксплуатационными скважинами, на другой – разведочная скважина. На Марковском месторождении объединенная проба шлама отбиралась из эксплуатационной скважины.

Для каждого шламового амбара путем смешения точечных проб, отобранных по периметру амбара, составлялись объединенные пробы. Масса объединенных проб составила не менее 1 кг. Все работы по отбору проб бурового шлама проводились в соответствии с методическими рекомендациями (ПНД Ф 12.1:2.2:2.3:3.2-03. Отбор проб почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод, отходов производства и потребления: методические рекомендации. Москва, 2014).

Пробоподготовка к аналитическим исследованиям включала несколько этапов: пробы бурового шлама просушивались, про-

сеивались через сито (с диаметром отверстий 1 мм). Перед исследованием элементного и минералогического состава валовые пробы бурового шлама измельчались на дробильной установке и растирались в агатовой ступке до пудрообразного состояния. Отдельно выделялась глинистая составляющая методом отмучивания исходной пробы, с последующим растиранием в агатовой ступке. Перед работой на сканирующем электронном микроскопе пробы бурового шлама были разделены на магнитную, электромагнитную и немагнитную фракции.

Минералогический состав исследуемых проб определялся методом рентгеновской порошковой дифрактометрии на дифрактометре Bruker D2 PHASER в МИНОЦ «Урановая геология» на базе Инженерной школы природных ресурсов НИ ТПУ (консультант Б. Р. Соктоев). Изучение минеральных форм элементов в исследуемых буровых шламах проводилось на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N с ЭДС приставкой Bruker XFlash 4010/5010 в МИНОЦ «Урановая геология» (консультант С. С. Ильенко). Элементный состав определялся методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП) в Химико-аналитическом центре «Плазма» (г. Томск).

Полученные результаты обработаны при помощи программы Microsoft Excel. Кларк концентрации рассчитывался по формуле $K_k = C/C_k$, где K_k – кларк концентрации; C – содержание элемента в пробе, мг/кг; C_k – геохимический кларк земной коры, мг/кг [2]. Рассчитан суммарный показатель загрязнения, с использованием кларка концентрации (K_k),

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_k - (n - 1), \quad (1)$$

где K_k – кларк концентрации i -го химического элемента;

n – число учитываемых аномальных элементов.

Суммарный показатель загрязнения разделяется на категории: низкий – менее 16; средний – 16...32; высокий – 32...128; очень высокий – более 128 [9].

В аккредитованной лаборатории ОГБУ «Облкомприрода» (г. Томск) (аналитик А. П. Сороченко) по аттестованным методикам определена токсичность и установлен класс опасности исследуемых буровых

шламов с помощью биотестирования на двух тест-объектах из разных биологических групп: *Daphnia magna* и *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb.

Результаты исследования и их обсуждение. По данным рентгенофазового анализа в составе исследуемых проб бурового шлама определены общие минералы – кварц, кальцит, доломит и слюдистые минералы (мусковит, биотит).

Пробы бурового шлама с эксплуатационных скважин Ярактинского и Марковского месторождений имеют общие минералы – кварц, кальцит, доломит, мусковит и ангидрит, занимающие максимальную долю в составе проб.

Проба бурового шлама с разведочной скважины Ярактинского месторождения су-

щественно отличается по минералогическому составу от пробы с эксплуатационных скважин. В составе появляются силикаты и алюмосиликаты (диопсид и цеолит), соли (галит), слюдистый минерал представлен биотитом.

Дополнительно предпринята попытка выделить глинистую составляющую методом отмучивания с последующей фильтрацией и анализом полученной фракции на дифрактометре. По данным рентгенофазового анализа в составе отделенной фракции глинистые минералы не обнаружены.

Результаты рентгенофазового анализа валовых проб и выделенной составляющей после отмучивания проб бурового шлама представлены в табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

Минералогический состав бурового шлама, % / Mineralogical composition of drill cuttings, %

Месторождение / Field	Марковское (эксплуатационная скважина) / Markovskoye (production well)		Ярактинское (эксплуатационная скважина) / Yarakinskoye (production well)		Ярактинское (разведочная скважина) / Yarakinskoye (exploratory well)	
	1	2	1	2	1	2
Проба* / Sample	1	2	1	2	1	2
Кварц / Quartz	28,9	24,4	43,6	32,5	2,4	5,7
Доломит / Dolomite	3,5	2,5	20,3	18,1	6,8	21,7
Кальцит / Calcite	15,4	13,5	19,8	31,5	5,2	16
Мусковит / Muscovite	18,6	23,3	12,4	14,7	-	-
Ангидрит / Anhydrite	4,3	5,4	3,9	3,1	3,5	8,3
Альбит / Albite	18,5	16,1	-	-	49,1	42,9
Клинохлор / Clinocllore	10,7	14,8	-	-	-	-
Биотит / Biotite	-	-	-	-	2,3	3,5
Диопсид / Diopside	-	-	-	-	24	-
Галит / Halite	-	-	-	-	6,7	-
Цеолит / Zeolite	-	-	-	-	-	1,9

1 – валовая проба; 2 – выделенная фракция методом отмучивания /

1 – gross sample; 2 – selected fraction by elutriation

Геохимическая специфика исследуемых буровых шламов рассчитана относительно кларка верхней части континентальной коры на основании работы Н. А. Григорьева [2] (табл. 2).

Буровой шлам с Ярактинского месторождения различается в зависимости от типа скважины. Проба, отобранная на кустовой площадке с эксплуатационными скважинами, выделяется повышенным содержанием Pb, As, Sb, Mo, Cu, Zn, W, Ag, Mg, Li. В буровом шламе с разведочной скважины отмечается ряд элементов с повышенным содержанием – Cu, As, Sc, Co, Mg, Na, V, Ni, Mn, Ti,

Fe, Zn, Ag, Ge, Cr. При сравнении двух проб с Ярактинского месторождения отмечается сильное различие в содержании редкоземельных элементов (в пробе, отобранной из разведочной скважины, концентрация РЗЭ близка к единице). Проба бурового шлама с эксплуатационной скважины Марковского месторождения существенно отличается по концентрации элементов. Отмечается повышенное содержание таких элементов, как As, Sc, Ag, Sr, Mg, Zn, Cr, Co, Li, Mn, Mo, Sb.

Элементный состав исследуемых буровых шламов различен, однако в целом

накапливаются элементы, относящиеся к тяжелым металлам. Рассматриваемая территория характеризуется проявлением на-

триевых солей и медистых песчаников, поэтому повышенное содержание меди в пробах объясняется природным фактором [11].

Таблица 2 / Table 2

Кларки концентрации (Кк) химических элементов относительно среднего состава верхней части континентальной земной коры по Н. А. Григорьеву [2] в буровых шламах нефтегазоконденсатных месторождений (Ярактинское и Марковское) / Clark of concentration of chemical elements relative to the average composition in the upper continental crust by N. A. Grigoriev [2] in drill cutting oil and gas condensate fields (Yaraktinskoye and Markovskoye fields)

Диапазон / Range	Химические элементы / Chemical elements		
	Марковское месторождение / Markovskoye fields	Ярактинское месторождение / Yaraktinskoye fields	
	эксплуатационная скважина / production well	эксплуатационная скважина / production well	разведочная скважина / exploratory well
> 3	As	Pb, As, Sb, Mo, Cu, Zn,	Cu, As, Sc
2...3	-	W	Co, Mg, Na, V, Ni, Mn
1...2	Sc, Ag, Sr, Mg, Zn, Cr, Co, Li, Mn, Mo, Sb	Ag, Mg, Li	Ti, Fe, Zn, Ag, Ge, Cr
0,5...1	Be, Fe, V, Ge, Ti, U, P, Cu, Pb, Ni, Ga, Ba, K, Si, Yb, Zr, Al, Rb, Eu, Nd, Na, Sm, Bi, Cs, Tb, Gd, Dy, Y, Ce, La, Nb, Tm, Er	Bi, Cr, Co, Sn, Sr, Fe, Ge, U, Cd, V, Mn	P, Sr, Ga, Yb, Tm, Dy, Er, Y, W, Eu, Tb, Zr, Al, Li, Mo, Ho, Lu, Gd, Si
< 0,5	Lu, Th, W, Pr, Sn, Hf, Cd, Ho, Tl, Ta	Ni, Si, P, Ti, K, Nb, Tl, Ta, Ga, Rb, Na, Cs, Be, Ba, Al, Zr, Hf, Tm, Sm, Sc, Tb, Gd, Eu, Th, Nd, La, Y, Pr, Ho, Ce, Lu, Yb, Er, Dy	Sm, Sn, Nb, Hf, Be, Nd, Cd, Ce, Sb, Pr, U, Ba, La, Ta, Pb, K, Rb, Th, Bi, Tl, Cs
Zc	8,78	34,53	20,56

В табл. 2 наглядно показана специфика накопления химических элементов в буровых шламах. В буровом шламе с эксплуатационных скважин Ярактинского месторождения элементы концентрируются высоко, в буровом шламе с разведочной скважины – в меньшей степени. Суммарный показатель загрязнения, рассчитанный по кларку концентрации, показывает, что проба с Ярактинского месторождения, отобранная на кустовой площадке с эксплуатационными скважинами, обладает высокой степенью загрязнения. К низкой степени загрязнения относится проба бурового шлама с Марковского месторождения.

Также пробы бурового шлама разделялись на магнитную, электромагнитную и немагнитную фракции. Каждая фракция исследовалась методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии на сканирующем электронном микроскопе. Магнитная фракция в основном представлена оксидами железа в виде осколков и сферул. Буровой шлам Ярактинского месторождения выделя-

ется наличием Ti-Fe-содержащими частицами, в отличие от проб с Марковского месторождения, где данные частицы не найдены.

Электромагнитная фракция проб бурового шлама представлена Pb-, Sn- и Sr-содержащими частицами, а также наличием включений, спектр которых соответствует группе сульфидов (пирит, халькопирит).

В пробах бурового шлама с Ярактинского месторождения, отобранных с разведочной скважины, отмечается наличие Pb-содержащих и Sr-S-содержащих частиц, также выявлен спектр минерала халькопирит и минерала галит (хлорид натрия). Буровой шлам с эксплуатационных скважин Ярактинского месторождения отличается от первой пробы наличием Sn-содержащей частицы и парагенезисом таких элементов, как Sr-Ba-S в одном спектре.

Проба с Марковского месторождения выделяется включением частиц со спектром таких элементов, как Sr-Ba-S и наличием дисульфидов железа (минерал пирит).

На исследуемых пробах бурового шлама проводилось биотестирование с последующим определением класса опасности на двух тест-объектах разных систематических групп: ракообразные *Daphnia magna Straus* (ФР.1.39.2007.03222) и водоросли *Scenedesmus quadricauda (Turp.) Breb* (ФР.1.39.2007.03223).

Определение кратности разведения водной вытяжки из отхода, при которой вредное воздействие на гидробионты отсутствует, основано на биотестировании водной вытяжки, выделенной из исследуемого отхода. За окончательный результат принимается класс опасности, выявленный на тест-объекте, проявившем более высокую чувствительность к анализируемому отходу.

Так, проба бурового шлама с Ярактинского месторождения (эксплуатационная скважина) относится к III классу опасности (умеренно опасный), водная вытяжка из отхода оказывает вредное воздействие при кратности 1...100 раз. Пробам с Ярактинского месторождения (разведочная скважина) и Марковского месторождения (эксплуатационная скважина) присвоен IV класс опасности (малоопасные), где водная вытяжка из отхода оказывает вредное воздействие при кратности в 1 раз.

Результаты биотестирования совпадают с рассчитанным показателем суммарного загрязнения. Проба бурового шлама с Ярактинского месторождения, отобранная с кустовой площадки с эксплуатационными скважинами, является умеренно опасным веществом и обладает высокой степенью загрязнения.

Заключение. Обобщая результаты исследования по установлению геохимической и минералогической специализации буровых

шламов на примере Ярактинского и Марковского месторождений, можно отметить ряд особенностей:

1) минералогический состав исследуемых проб бурового шлама схож, максимальную долю в составе занимают кварц, кальцит, доломит и слюдястые минералы;

2) в пробах бурового шлама, отобранных на шламовых амбарах Ярактинского и Марковского месторождений, отмечается повышенное концентрирование As, Zn, Mg, Ag относительно среднего состава верхней части континентальной земной коры (по Н.А. Григорьеву);

3) суммарный показатель загрязнения, рассчитанный по кларку концентрации, показывает, что исследуемые пробы относятся к разной степени загрязнения. Высокой степенью загрязнения обладает проба бурового шлама с Ярактинского месторождения, отобранная с кустовой площадки с эксплуатационными скважинами. Проба с разведочной скважины обладает средней степенью загрязнения. К низкой степени загрязнения относится проба бурового шлама с Марковского месторождения;

4) метод энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии при исследовании проб бурового шлама на сканирующем электронном микроскопе выявил минеральные фазы Pb, Sn, Sr, Ba Fe, Ti. Также зафиксированы оксиды железа сферической формы;

5) по результатам токсикологического анализа методом биотестирования исследуемый буровой шлам относится к умеренно опасным и малоопасным отходам. Пробы бурового шлама оказывают токсическое действие на микроводоросли *Scenedesmus quadricauda* и рачков *Daphia magna*.

Список литературы

1. Балаба В. И. Обеспечение экологической безопасности строительства скважин на море // Бурение и нефть. 2004. № 1. С. 18–21.
2. Григорьев Н. А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.
3. Матвиенко В. В., Кузнецов В. А., Цеханский М. В. К вопросу о современных методах переработки и утилизации отходов бурения // Нефть и газ Сибири. 2017. № 3. С. 94–99.
4. Московченко Д. В., Дорожукова С. Л. Последствия буровых работ на севере Тюменской области // Экология и промышленность России. 2002. № 9. С. 27–30.
5. Непско-Ботубинская антеклизы – новая перспективная область добычи нефти и газа на Востоке СССР / под ред. А. Э. Конторовича, В. С. Суркова, А. А. Трофимука. Новосибирск: Наука, 1986. 245 с.
6. Патин С. А. Нефть и экология континентального шельфа = Oil and continental shelf ecology. М.: ВНИРО, 2001. 247 с.
7. Пичугин Е. А. Шенфельд Б. Е. К вопросу различия буровых и нефтяных шламов // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21, № 7. С. 14–19.

8. Попов Д. Д. Особенности геологического строения и перспективы нефтегазоносности базальных терригенных отложений венда западной, юго-западной частей Непско-Ботуобинской антеклизы // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2011. Т. 4, № 1. С. 173–189.
9. Саёт Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П., Смирнова Р. С., Башаркевич И. Л., Онищенко Т. Л., Павлова Л. Н., Трефилова Н. Я., Ачкасов А. И., Саркисян С. Ш. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
10. Соромотин А. В. Воздействие добычи нефти на таежные экосистемы Западной Сибири. Тюмень: Изд-во Тюменского гос. ун-та, 2010. 320 с.
11. Соромотин А. В., Пислегин Д. В. Тяжелые металлы в донных отложениях шламовых амбаров геологоразведочных скважин Западной Сибири // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2015. № 6. С. 514–520.
12. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления = Stratigraphy of oil and gas basins of Siberia. Riphean and vendian of Siberian platform and plaited border / под ред. Н. В. Мельникова. Новосибирск: Гео, 2005. 428 с.
13. Baloyan M. B., Chudnova T. A., Shapovalov D. A. Environmental justification of the use of drill cuttings in the soil // International agricultural journal. 2019. No. 1. P. 50–55.
14. Kujawska J., Cel W. Mobility of metals from drill cuttings. URL: <https://www.longdom.org/open-access/mobility-of-metals-from-drill-cuttings-2252-5211-1000285.pdf> (дата обращения: 12.10.2019). Текст: электронный.
15. Mikos-Szymańska M., Rusek P., Borowik K., Rolewicz M., Bogusz P. Characterization of drilling waste from shale gas exploration in Central and Eastern Poland // Environmental Science and Pollution Research. 2018. Vol. 25, No. 36. P. 35990–36001.
16. Nabhani N., Khaje E. Environmental aspects of oil and water-based offshore drilling muds and cuttings // International Journal of Mechanical And Production Engineering. 2015. Vol. 3, No. 4. P. 14–19.
17. Savichev O. G., Matveenko I. A., Savchenko D. V. Changes in chemical composition of drilling waste water in taiga zone of Western Siberia (the Russian Federation) on the basis of thermodynamic approach. URL: <http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/35134/1/dx.doi.org-10.1088-1755-1315-43-1-012027.pdf> (дата обращения: 10.10.2019). Текст: электронный.

References

1. Balaba V. I. *Burenie i neft* (Drilling and oil), 2004, no. 1, pp. 18–21.
2. Grigoriev N. A. *Raspredelenie himicheskikh elementov v verkhney chasti kontinentalnoy kory* (Distribution of chemical elements in the upper part of the continental crust). Yekaterinburg: Uro RAS, 2009. 382 p.
3. Matvienko V. V., Kuznetsov V. A., Tsekhansky M. V. *Neft i gaz Sibiri* (Oil and gas of Siberia), 2017, no. 3, pp. 94–99.
4. Moskovchenko D. V., Dorozhukova S. L. *Ekologiya i promyshlennost Rossii* (Ecology and industry of Russia), 2002, no. 9, pp. 27–30.
5. *Nepsko-Botuobinskaya antekliza – novaya perspektivnaya oblast dobychi nefti i gaza na Vostoke SSSR* (Nepsko-Botuobinskaya antekliza – a new promising area of oil and gas production in the East of the USSR) / ed. A. E. Kontorovich, V. S. Surkov, A. A. Trofimuk. Novosibirsk: Nauka, 1986. 245 p.
6. Patin S. A. *Neft i ekologiya kontinentalnogo shelfa = Oil and continental shelf ecology* (Oil and ecology of the continental shelf = Oil and continental shelf ecology). Moscow: VNIRO, 2001. 247 p.
7. Pichugin E. A., Schoenfeld B. E. *Ekologiya i promyshlennost Rossii* (Ecology and industry of Russia), 2017, vol. 21, no. 7, pp. 14–19.
8. Попов Д. Д. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle* (News of the Irkutsk State University. Series: Earth Sciences), 2011, vol. 4, no. 1, pp. 173–189.
9. Саёт Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П., Смирнова Р. С., Башаркевич И. Л., Онищенко Т. Л., Павлова Л. Н., Трефилова Н. Я., Ачкасов А. И., Саркисян С. Ш. *Geohimiya okruzhayushchey sredy* (Geochemistry of the environment). Moscow: Nedra, 1990. 335 p.
10. Соромотин А. В. *Vozdeystvie dobychi nefti na taezhnye ekosistemy Zapadnoy Sibiri* (Impact of oil production on taiga ecosystems in Western Siberia). Tyumen: Publishing house of the Tyumen State University, 2010. 320 p.
11. Соромотин А. В., Пислегин Д. В. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya* (Ecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology), 2015, no. 6, pp. 514–520.
12. *Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Rifey i vend Sibirskoy platformy i ee skladchatogo obramleniya = Stratigraphy of oil and gas basins of Siberia. Riphean and vendian of Siberian platform and plaited border* (Stratigraphy of oil and gas basins in Siberia. Riphean and Wend of the Siberian platform and its folded frame = Stratigraphy of oil and gas basins of Siberia. Riphean and vendian of Siberian platform and plaited border) / ed. N. V. Melnikov. Novosibirsk: Geo, 2005. 428 p.

13. Baloyan M. B., Chudnova T. A., Shapovalov D. A. *International agricultural journal* (International agricultural journal), 2019, no. 1, pp. 50–55.
14. Kujawska J., Cel W. *Mobility of metals from drill cuttings* (Mobility of metals from drill cuttings). URL: <https://www.longdom.org/open-access/mobility-of-metals-from-drill-cuttings-2252-5211-1000285.pdf> (Date of access: 12.10.2019). Text: electronic.
15. Mikos-Szymańska M., Rusek P., Borowik K., Rolewicz M., Bogusz P. *Environmental Science and Pollution Research* (Environmental Science and Pollution Research), 2018, vol. 25, no. 36, pp. 35990–36001.
16. Nabhani N., Khaje E. *International Journal of Mechanical And Production Engineering* (International Journal of Mechanical And Production Engineering), 2015, vol. 3, no. 4, pp. 14–19.
17. Savichev O. G., Matveenkov I. A., Savchenko D. V. *Changes in chemical composition of drilling waste water in taiga zone of Western Siberia (the Russian Federation) on the basis of thermodynamic approach* (Changes in chemical composition of drilling waste water in taiga zone of Western Siberia (the Russian Federation) on the basis of thermodynamic approach). URL: <http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/35134/1/dx.doi.org-10.1088-1755-1315-43-1-012027.pdf> (Date of access: 10.10.2019). Text: electronic.

Исследования выполнены с использованием научного оборудования Центра коллективного использования ТПУ. Авторы благодарят инженера-стажера по охране окружающей среды ООО «Иркутская нефтяная компания» В. М. Черепанову за отбор проб во время прохождения производственной практики

The research was carried out using the scientific equipment of the TPU Collective Use Center. The authors would like to thank V. M. Cherepanova, an engineer-trainer in environmental protection at LLC "Irkutsk Oil Company", for taking samples during production practice

Коротко об авторах

Климова Алена Андреевна, аспирант, отделение геологии Инженерной школы природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия. Область научных интересов: отходы производства, биотестирование
klimovalena777@mail.ru

Язиков Егор Григорьевич, д-р геол.-минер. наук, профессор, отделение геологии Инженерной школы природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия. Область научных интересов: экогеохимия, геоэкологический мониторинг
yazikoveg@tpu.ru

Briefly about the authors

Alena Klimova, postgraduate, Geology department, School of Natural Resources Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia. Sphere of scientific interests: production waste, bioassay

Egor Yazikov, doctor of geological and mineralogical sciences, professor, Geology department, School of Natural Resources Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia. Sphere of scientific interests: ecogeochemistry, geoeological monitoring

Образец цитирования

Климова А. А., Язиков Е. Г. Минералого-геохимическая специфика буровых шламов нефтегазоконденсатных месторождений на примере объектов иркутской области // Вестник Забайкальского государственного университета. 2020. Т. 26, № 2. С. 32–39. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-2-32-39.

Klimova A. A., Yazikov E. Mineralogical and geochemical particularity of drill cuttings from oil and gas condensate fields on the example of objects of the Irkutsk region // Transbaikalian State University Journal, 2020, vol. 26, no. 2, pp. 32–39. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-2-32-39.

Статья поступила в редакцию: 06.11.2019 г.
Статья принята к публикации: 04.02.2020 г.