

К. К. Байтенов¹, А. А. Жургенова¹, А. Б. Кулбаева^{1*}, С. К. Бермагамбетова¹, К. Н. Шаяхметова¹, Л. Д. Сакебаева¹, Г. И. Карашова¹, Ф. А. Рабаева¹, А. А. Мамырбаев¹

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БУРОВОГО РАСТВОРА

¹НАО «Западно-Казахстанский медицинский университет имени Марата Оспанова» (030019, Республика Казахстан, г. Актобе, ул. Маресьева 68; e-mail: info@zktmu.kz)

***Айнур Бейімбетқызы Кулбаева** – кафедра профилактической медицины, НАО «Западно-Казахстанский медицинский университет имени Марата Оспанова»; 030019, Республика Казахстан, г. Актобе, ул. Маресьева 68; e-mail: anon_88@mail.ru

Цель. Исследование химического состава бурового раствора и его токсичности на основе оценки среднесмертельных доз.

Материалы и методы. Исследование химического состава бурового раствора и бурового шлама на металлы и неорганические оксиды проведено методом атомно-абсорбционной спектроскопии (AgilentAA240FS), а также с использованием атомно-эмиссионной спектроскопии. В эксперименте на половозрелых крысах-самцах установлена среднесмертельная доза бурового раствора при внутрибрюшинном однократном введении.

Результаты и обсуждение. Результаты собственных исследований указывают на то обстоятельство, что буровой раствор и буровой шлам отличаются многообразием химического состава, обусловленного наличием в них тяжелых металлов и неорганических оксидов. В буровом растворе найдены Pb и As, в буровом шламе As, Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn; P₂O₅, SiO₂, CaO, Na₂O, K₂O. В остром опыте, в условиях однократного внутрибрюшинного введения бурового раствора, установлены летальные дозы (ЛД₁₆, ЛД₅₀, ЛД₈₄, ЛД₁₀₀), а также показатели выживаемости. Выявленные дозозависимые эффекты токсического действия бурового раствора, определяемые среднесмертельной дозой и соответствующей выживаемостью, свидетельствуют о потенциальной опасности бурового раствора и бурового шлама.

Выводы. Буровой раствор и буровой шлам обладают определенной токсичностью и опасностью, которая во многом зависит от их химического состава, обусловленного наличием тяжелых металлов и неорганических оксидов. Установленные летальные дозы и показатели выживаемости свидетельствуют об умеренной токсичности бурового раствора.

Ключевые слова: буровой раствор; буровой шлам; химический состав; тяжелые металлы; среднесмертельная доза; эксперимент

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное освоение добычи углеводородного сырья в Западном Казахстане сопровождается широким использованием в технологическом процессе самых разнообразных буровых растворов (БР). Буровой раствор определяется как процесс добавления или закачивания специальных химических материалов в буровые скважины для повышения эффективности бурения. Буровые растворы, в зависимости от их химического состава, делятся на БР на водной основе, на нефтяной основе и смешанные буровые растворы [1, 2]. Многочисленные литературные данные свидетельствуют о том, что БР – это многокомпонентный химический раствор, состоящий из бентонита и многочисленных других добавок, регулирующих свойства БР, таких как регуляторы потери жидкости, ингибиторы коррозии, ингибиторы набухания сланцев, средства для повышения щелочности, утяжелители и другие химические вещества органической и неорганической природы [3, 4]. В последние годы для повышения эффективности действия буровых растворов в их состав вводятся самые

разнообразные полимерные наноматериалы [5, 6]. Наличие в буровых растворах большого количества тяжелых металлов, нефтяных углеводородов [7, 8] предопределяет наличие токсических свойств у бурового раствора, отработанного бурового раствора и бурового шлама (БШ).

Изучение токсичности компонентов БР методами биотестирования [9] на таких тест-объектах, как светящиеся бактерии *Photobacteriumfisher* и водоросль *Euglenagracillis*, показала, что токсичность применяемых БР определялась, прежде всего, степенью насыщенности их хлористым натрием, величиной рН и концентрацией реагентов на основе лигнина (последние являются остротоксичными веществами). Острую токсичность имели лигнинсодержащие реагенты – щелочной шламлигнин и лингоцел, растворенные в соленасыщенной среде, но по мере снижения концентрации токсичность резко падала. Наличие в БР таких полимеров, как полиакриламид, карбоксиметилцеллюлоза, гипан, некоторых водорастворимых солей, с точки зрения токсичности имеет меньшее значение. Интересны также сведения о том, что значения токсичности используемых соленасыщенных буровых растворов, в условиях

эксплуатации, не являются постоянными: они максимальны для свежеприготовленных буровых растворов и снижаются затем во времени, в процессе использования БР [9].

Биотестирование БР и отходов на тест-культуре водорослей подтверждают факт высокотоксичности многокомпонентных буровых растворов, особенно тех, которые содержат бихроматы калия и в больших концентрациях водорастворимые соли [10]. В глинистых солевых буровых растворах характер токсичности зависит в основном от концентрации воднорастворимых солей. При небольших концентрациях солей БР, отработанный буровой раствор и буровой шлам принадлежат к V классу опасности (практически неопасные). Однако, с увеличением концентрации солей до 20% и выше, а также по мере усложнения состава раствора, токсичность исходного БР, отработанного бурового раствора возрастает, а токсичность бурового шлама остается на уровне V класса опасности. Данная закономерность сохраняется и для глинистых улучшенных буровых растворов. БР, включающие в себя глину бентонитовую, небольшие количества углещелочного реагента, феррохромлигносульфоната, как правило, не токсичны, не проявляется токсичность и в образующихся на их основе жидких и твердых отходах. Усложнение таких растворов введением в них, например, бихромата калия даже в небольших количествах приводит к существенному увеличению токсичности БР и отходов бурения [10].

Глинистые эмульсионные БР, в состав которых входят нефть, дизтопливо, реагент эмульсионный, обладают достаточно высокими показателями токсичности, которая передается, также жидким и твердым отходам. Полимерсодержащие глинистые и безглинистые БР, включающие глинистую суспензию, полимеры и небольшое количество щелочи (до 0,3%), характеризуются невысокими показателями токсичности. Усложнение полимерных растворов путем введения в их состав водного раствора гидрофобизирующей кремнийорганической жидкости повышает степень токсичности [10]. Наночастицы микропластика, полистирола, фталата влияют на морфологические и функциональные показатели *Daphniamagna* [11, 12]. Наличие углеводородов и тяжелых металлов в буровом растворе и отходах бурения определяет наличие выраженных токсических свойств [13].

В тоже время вопрос о токсичности и опасности БР до настоящего времени остается малоизученным и дискуссионным. Токсикологические характеристики БР, степень опасности для окружающей среды, млекопитающих и для работающих в большинстве своем неизвестны. Исходя из вышеизложенного представляется важным изучение химического состава бурового раствора и его токсичности.

Цель работы – исследование химического состава бурового раствора и его токсичности на основе оценки среднесмертельных доз.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методом атомно-абсорбционной спектроскопии (AgilentAA240FS) было изучено содержание тяжелых металлов в буровом растворе (10 проб) и буровом шламе (10 проб), образцы которых были взяты со скважины СИБ №64013 нефтегазового месторождения «Кенкияк».

Содержание тяжелых металлов в БР и БШ было выполнено Актюбинским областным центром санитарно-эпидемиологической экспертизы. Анализ проб проводился на основе ГОСТа 26929-94 «Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов».

Лабораторией ТОО «Геоплазма» с использованием атомно-эмиссионной спектроскопии был проанализирован элементный состав проб бурового шлама (в неотмытом и в виде жидкого материала). Лабораторно-аналитические работы были выполнены на основе использования следующих методических документов: МВИ №01-ИЛ-2016; МВИ №499-АЭС/МС МКХА. Изучение литолого-петрографических особенностей бурового шлама осуществлялись путем микроскопического описания 20 проб, 20 прозрачных шлифов. Люминесцентно-битуминологический анализ проведен в 20 пробах; в 10 пробах проведен химанализ на содержание оксидов химических веществ и металлов.

Оценка общетоксического действия бурового раствора изучалась на половозрелых беспородных крысах-самцах, масса тела которых составляла 180-220 грамм. Рандомизация подопытных животных проводилась случайным способом, где важным критерием была масса тела животных, отклонения от которой в исследуемых группах не превышало 10%. В эксперименте всего было сформировано 6 групп, по 6 животных в каждой группе: контрольная группа состояла из интактных животных, не подвергавшихся никаким манипуляциям (1 группа) и 5 опытных групп; всего было использовано 36 крыс-самцов. Животным опытных групп, однократно, в остром эксперименте, внутрибрюшинно вводился буровой раствор: 2 группа получила буровой раствор однократно в дозе 300 мг/кг; 3 группа – 600 мг/кг; 4 группа – 1200 мг/кг; 5 группа – 2400 мг/кг; 6 группа – 4800 мг/кг. Буровой раствор вводился однократно внутрибрюшинно с помощью специального шприца. Индивидуальный объем вводимой дозы бурового раствора для каждого животного рассчитывался исходя из значений массы тела.

Экспериментальные животные содержались в условиях вивария, при свободном доступе к воде и корму, при естественном освещении и температуре окружающего воздуха от 20 до 22 °С, полностью соответствующих санитарным нормам (Санитарные правила по устройству, оборудованию и содержанию экспериментально-биологических клиник (вивариев) от 19.06.1997 № 8.01.004.97). Особенности методов проведения исследований основаны на использовании Руководства Р1.2.31.56-13 «Оценка токсичности и опасности химических веществ и их смесей для здоровья человека». Следует указать, что требования к постановке исследований на экспериментальных животных в данном Руководстве идентичны международным документам OECDTG№ 420 «AcuteOralToxicity – FixedDoseProcedure». Также принимался во внимание ГОСТ 33216-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами» (принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 22 декабря 2014 г. N 73-П).

За 12 ч перед однократным внутрибрюшинным введением бурового раствора животные были лишены корма. После введения бурового раствора за контрольными и опытными животными осуществлялось непрерывное наблюдение за общим состоянием, количеством и времени гибели животных в течение всего периода наблюдения. Наблюдение проводилось в динамике: в течение 6 ч в первые сутки, через 24 часа и в последующие дни эксперимента. Длительность наблюдения за животными составила 15 сут.

По результатам гибели животных проводился расчет токсических доз – LD_{16} , LD_{50} , LD_{84} , LD_{100} и показателей потенциальной опасности острого отравления (S, R), согласно методу пробит-анализа по Финни [14] и пробит-анализа по Прозоровскому [15]. Программирование указанного метода с помощью вычислительной техники позволило использовать его в широкой практике. Для обработки результатов исследований использовалась программа *StatPlus Version 7*, *StatPlus 5 Pro* Версия 6. Следует отметить, что данная программа представляет собой набор специальных документов, которые дают возможность загрузить результаты исследований в базу данных *MSEXcel* и рассчитать, используя линейный регрессионный анализ, необходимые параметры токсичности, нижнюю и верхнюю границу LD_{50} , стандартную ошибку, показатели весового коэффициента и пробит. Модель расчета пропорциональных интенсивностей Кокса, заложенная в программе *StatPlus*, дала возможность рассчитать время гибели и выживаемость экспериментальных животных.

Результаты исследований обработаны методами вариационной статистики. Оценка различий между группами проводилась с использованием параметрического t-критерия Стьюдента с учетом поправки Бонферрони; данные были представлены в виде $M \pm SD$, где M – среднее арифметическое, SD – стандартное отклонение, а также с применением непараметрического U-критерия Манна – Уитни; данные были представлены в виде Me – медианы и (Q1, Q3) – нижнего и верхнего квартилей. Корреляционный анализ проведен с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Количественные параметры представлены в виде среднего значения (M) и 95% доверительного интервала ($\pm 95\%$ ДИ), либо в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха (25%; 75%). Критическим уровнем значимости при проверке статистических гипотез был принят $p \leq 0,05$.

Исследование выполнено в рамках научного проекта ИРН AP19676915 «Разработка токсикометрических критериев опасности и токсичности бурового раствора и шлама», финансируемого Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан. Получено заключение локальной комиссии по биоэтике НАО «Западно-Казахстанский медицинский университет имени М. Оспанова» от 15.03.2023. Протокол № 3 (3/14).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты лабораторных исследований, касающиеся содержания тяжелых металлов в буровом растворе и буровом шламe показали следующее: в буровом растворе содержание свинца (Pb) составило $0,073 \pm 0,006$ мг/дм³

(предельно допустимая концентрация (ПДК) свинца в воде – 0,03 мг/л; $p < 0,05$); содержание мышьяка (As) составило $0,00014 \pm 0,0004$ мг/дм³, ПДК в воде – 0,05 мг/л; $p < 0,05$. Статистическую зависимость содержания исследуемых элементов в БР оценивали относительно гигиенического норматива этих металлов в воде. Содержание тяжелых металлов в буровом шламe и, в частности, свинца (Pb) составило $13,22 \pm 3,45$ мг/кг (ПДК свинца в почве – 32,0 мг/кг; $p < 0,05$, а содержание марганца (Mn) составило $77,6 \pm 0,17$ мг/кг. Поскольку в действующих санитарных правилах РК нет данных гигиенических норм содержания марганца в почве, его ПДК не приводится.

Изучены результаты исследований содержания неорганических оксидов и металлов в буровом шламe. Буровой шлам, как и буровой раствор, и буровые сточные воды, содержит в своем составе широкий спектр вредных для окружающей среды компонентов. Естественно, буровой шлам и буровой раствор должны быть безопасны для здоровья человека и окружающей среды, иметь санитарно-эпидемиологическое и экспертное токсиколого-гигиеническое обоснование без вредности для окружающей среды. Выявлено, что буровой шлам содержит значительное количество оксида фосфора, диоксида кремния, оксида кальция, оксида натрия и калия. Особый интерес представляет содержание металлов в буровом шламe, спектр которого достаточно широк и представлен мышьяком, барием, кадмием, хромом, медью, марганцем, никелем, свинцом и цинком (табл. 1, 2).

Литологическое описание шлама показало, что в его состав входит 80% – песок, песчаник слабосцементированный светло-серый, крупно-средне-мелкозернистый, алевролитистый до алевроитового, преимущественно кварцевого состава, реже с зернами кремней и листочками мусковита. Зерна по форме полуугловатые, полуокатанные и окатанные, среднесортированные. Цемент в песчанике карбонатно-глинистый порово-контактного типа; 20% – глина светло-серая, алевролитистая, неслоистая, неравномерно известковистая.

Проведенное петрографическое описание прозрачных шлифов из шлама выявило следующую картину: песчаник средне-мелкозернистый, алевролитистый, с единичными гравийными зернами, мезомиктовый, слабосцементированный. Структура: обломочная часть составляет около 65%, распределена неравномерно. Размер зерен варьирует в пределах от 0,01 до $0,64 \times 1,02$ мм, преобладают обломки мелкозернистой песчаной размерности. Обломки гравийной величины единичны. Они длиннопризматической, таблитчатой, несовершенно эллипсоидальной формы, угловатые, полуугловатые, окатанные. Представлены кварцем величиной до $0,64 \times 1,02$ мм. Форма зерен алевроитово-песчаной размерности таблитчатая, треугольная, неправильная. По степени окатанности частицы угловатые, полуугловатые, полуокатанные. Сортировка обломков в породе средняя. Текстура беспорядочная. Состав: кварц (преимущественно), кремнистые породы, кварциты, слюдястые сланцы, плагиоклаз кислого состава, калиевый полевой шпат, мусковит. Аутигенные минералы в виде эллипсоидальных зерен халцедона. Цемент составляет 35%, он глинистого состава базального типа, сульфидного состава базального, островного типа. В породе встречаются включения углистого растительного детрита.

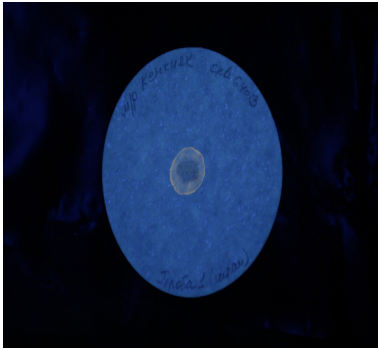
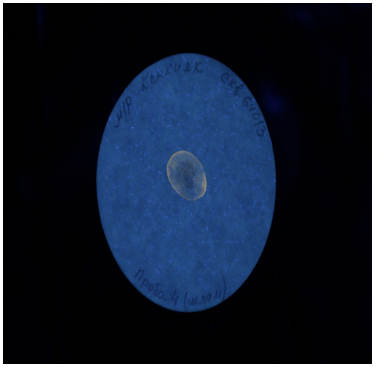
Таблица 1 – Содержание неорганических оксидов в буровом шламе (%)

	P ₂ O ₅	SiO ₂	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
M	0,114	33,79	20,51	1,104	0,756
m	0,006992	2,023995	1,412209	0,083293	0,04402

Таблица 2 – Содержание металлов в буровом шламе (%·10⁻⁴)

	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
M	57,6	5418,6	1,074	90,68	354,8	946,1	33,41	655,6	3326,9
m	1,821477	321,5225	0,03534	13,16332	18,29876	30,52303	1,868719	34,16691	376,6482

Таблица 3 – Результаты люминесцентно-битуминологического анализа проб из шлама

№ пробы	Название породы	Тип битума	Количественная оценка содержания битумоидов (в баллах)	Фото
1	Песчаник	МСБ	4	
4	Песчаник, алевролит	МСБ	3	

ЛБ – легкий битумоид; МБ – маслянистый битумоид; СБ – смолистый битумоид; МСБ – маслянисто-асфальтеновый битумоид; САБ – смолисто-асфальтеновый битумоид

Результаты люминесцентно-битуминологического анализа проб из шлама представлены в таблице 3.

Количественная характеристика содержания битумоидов, представленная на фото в таблице 3, более детализирована в таблице 4.

Также было проведено литологическое описание пород из жидкой смеси, полученная из опытных образцов бурового шлама. Результаты петрографического описания прозрачных шлифов из жидкой смеси: алевролит разномасштабный, кварцевый, слабосцементированный. Структура: обломочная часть составляет около 70%, распределена неравномерно. Размер зерен варьирует в пределах от 0,01 до 0,62 мм, преобладают обломки разномасштабной алевритовой фракции, песчаные зерна единичны.

Форма зерен таблитчатая, треугольная, неправильная. По степени окатанности частицы угловатые, полуугловатые, полуокатанные. Сортировка обломков в породе средняя. Текстура беспорядочная. Состав: кварц (преимущественно), кремнистые породы, мусковит. Аутигенные минералы представлены зернами хлорита. Цемент составляет 30%, он карбонатно-глинистого состава базального, порово-базального типа. В породе встречаются включения углистого растительного детрита.

Изучение элементного состава бурового шлама, его литологическое и петрографическое описание прозрачных шлифов из шлама, люминесцентно-битуминологический анализ проб доказывают наличие достаточно сложного и многокомпонентного состава бурового

Таблица 4 – Количественная характеристика содержания битумоидов

Балл	Форма люминисцирующего участка (кольца)
1	точки
2	тонкое («рваное») кольцо
3	тонкое кольцо
4	неровное пятно, толстое кольцо
5	ровное пятно

Таблица 5 – Дозозависимые эффекты бурового раствора (по Прозоровскому)

Пробит-анализ – Метод Прозоровского [Нормальное распределение]				
Стимул (Доза)	Процент (%)	N	Пробит (Y)	Весовой коэффициент (Z)
300,0	4,17%	6	3,2680	1,5359
600,0	20,%	5	4,1585	3,8171
1 200,0	50,%	4	5,0000	5,0000
2 500,0	91,67%	3	6,3832	2,3503
Регрессионная статистика				
LD_{50}	1 312,1725		LD_{50} Стандартная ошибка	318,0643
Нижняя граница LD_{50} ($LD_{50} LCL$)	612,1176		Верхняя граница LD_{50} ($LD_{50} UCL$)	2 012,2273
Бета	0,0013		У-пересечение (intercept)	3,3158
Бета Стандартная ошибка	0,0004			
LD_{10}	313,5836		LD_{16}	533,0772
LD_{84}	2 091,2678		LD_{90}	2 310,7613
LD_{100}	2 480,8154			

шлама, содержащего многочисленные неорганические и органические вещества. Результаты этих работ дают возможность исследователям получить необходимую информацию и разработать мероприятия по безопасным условиям труда.

В настоящем исследовании получен также фактический материал по параметрам токсического действия бурового раствора, оцениваемых с использованием метода пробит-анализа по Прозоровскому и Финни [14, 15], который позволил определить смертельные дозы (включая LD_{50}) бурового раствора при его внутрибрюшинном введении. Параметры, определяемые пробит-методом позволяют в большей степени получить достаточно важную и широкую информацию о токсичности бурового раствора. Пробит-анализ – в настоящее время является наиболее адекватным и полноценным методом количественной оценки зависимостей «доза-эффект».

В таблице 5 представлены дозозависимые эффекты бурового раствора при внутрибрюшинном введении. Установлена среднесмертельная доза (LD_{50}) бурового раствора, которая равна 1 312,1725 (нижняя граница – 612,1176, верхняя граница – 2 012,2273; стандартная ошибка – 318,0643). В ходе исследования определены также LD_{10} , LD_{16} , LD_{84} , LD_{90} , LD_{100} .

Значения LD_{50} (рис. 1) указывают на то, что сигмоидальные кривые «доза – эффект» и их 95% доверительные интервалы достаточно убедительно подчеркивают дозозависимость бурового раствора. Модель пропорциональных интенсивностей Кокса, характеризующая выживаемость и гибель экспериментальных животных, до-

казала, что буровой раствор в дозе 600 привел к гибели одной крысы на 2 сут, в дозе 1 200 – привел к гибели двух животных на 2 сут эксперимента, в дозе 2500 – к гибели трех животных на 1 и 2 сут опыта (рис. 2).

Проанализированы параметры токсичности бурового раствора в остром опыте при однократном внутрибрюшинном введении, рассчитанных пробит-анализом по методу Финни. Показано, что среднесмертельная доза бурового раствора равна 1 040,1838 (нижняя граница – 606,2938, верхняя граница – 2 700,4891; стандартная ошибка – 406,0544) (табл. 6). На рисунке 3 представлены сигмоидальные кривые доза-эффект и их доверительные интервалы, подтверждающие приведенные в таблице 6 расчетные данные среднесмертельной дозы бурового раствора. Научно обоснованные среднесмертельные дозы бурового раствора свидетельствуют о том, что метод пробит-анализа по Прозоровскому показывает несколько большую среднесмертельную дозу, по сравнению с методом пробит-анализа по Финни.

Полученные научные данные, касающиеся оценки дозозависимых эффектов бурового раствора при его внутрибрюшинном однократном введении, указывают на тот факт, что буровой раствор относится к умеренно токсичным многокомпонентным химическим веществам. Параметры, определяемые пробит-методом позволили получить надежную информацию о токсичности исследуемого бурового раствора. Используемая модель пропорциональных интенсивностей Кокса позволила обосновать гибель и выживаемость опытных животных в условиях однократного внутрибрюшинного введения бурового раствора.

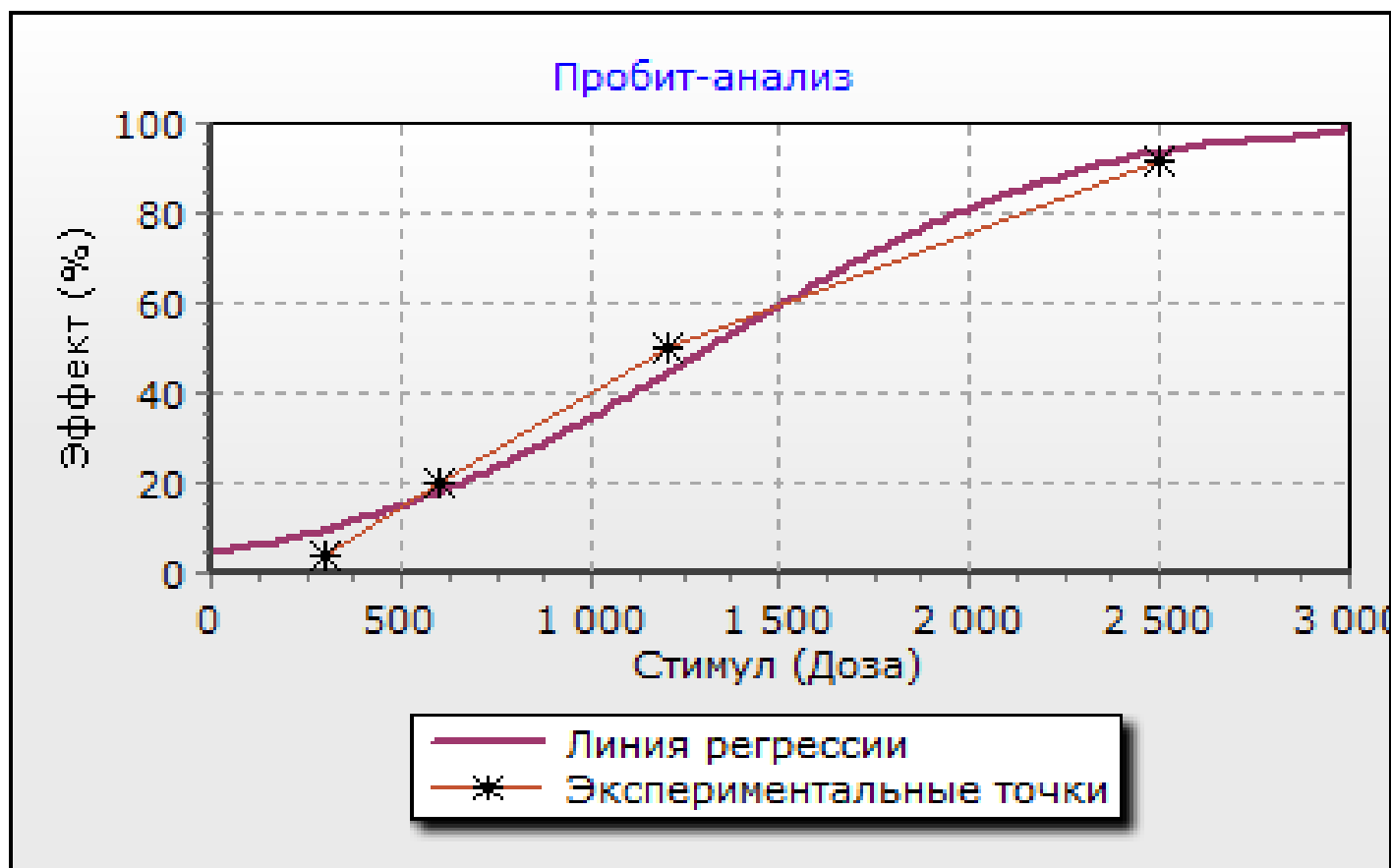


Рисунок 1 – Сигмоидальные кривые смертельных доз бурового раствора (по Прозоровскому)

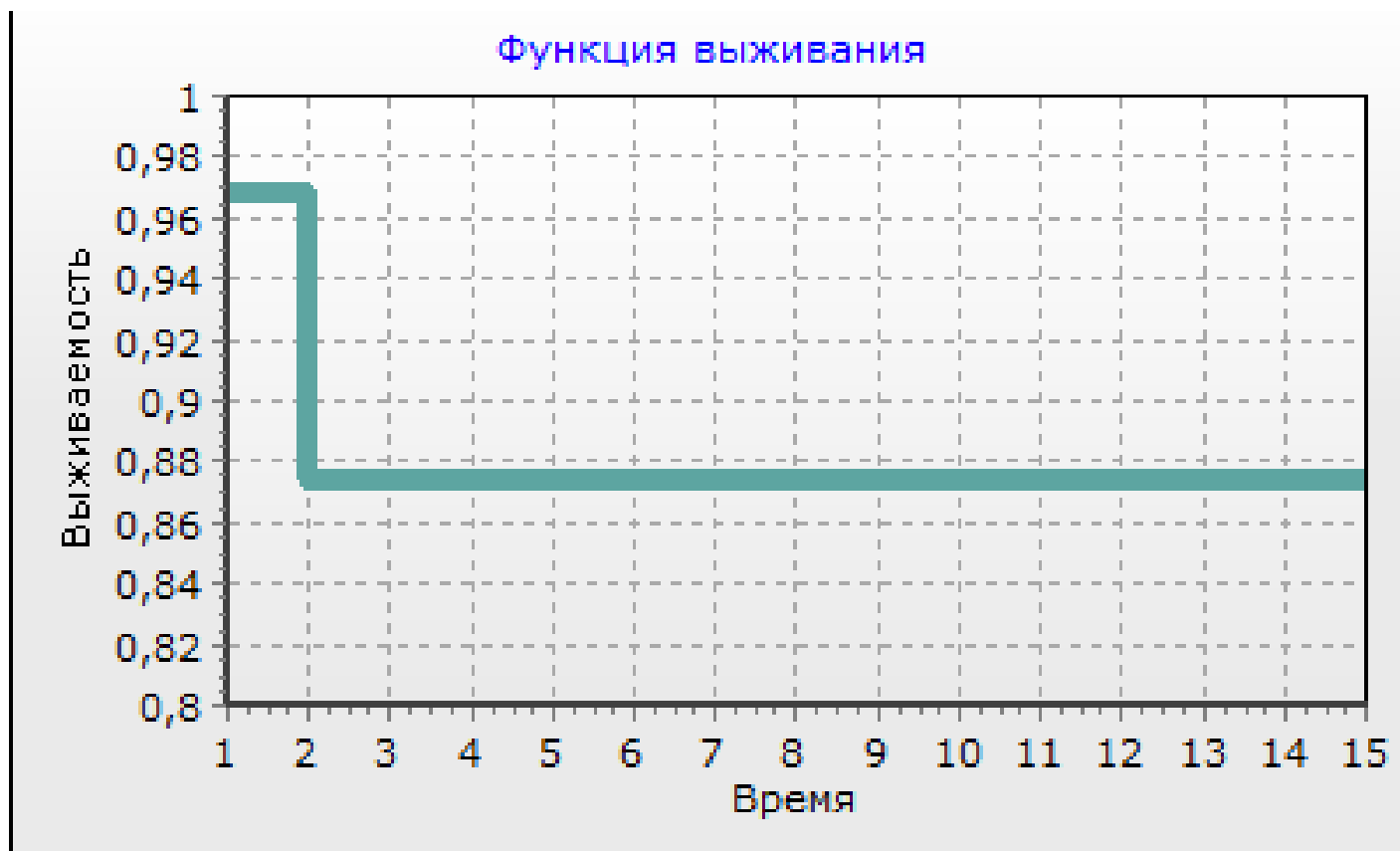


Рисунок 2 – Показатели выживаемости в остром опыте (метод Кокса)

Таблица 6 – Дозозависимые эффекты бурового раствора (по Финни)

Пробит-анализ – Метод Финни [Логнормальный закон распределения]							
Log10 [Стимул (Доза)]	Процент (%)	Процент (пробит)(%)	N	R	E (R)	Разница	Хи-квадрат
2,4771	4,17%	0,74%	6	0,2500	0,0445	0,2055	0,9494
2,7782	20,%	14,05%	5	1,0000	0,7023	0,2977	0,1262
3,0792	50,%	61,03%	4	2,0000	2,4412	-0,4412	0,0797
3,3979	91,67%	95,71%	3	2,7500	2,8714	-0,1214	0,0051
Хи-квадрат							
Хи-квадрат		1,1604					
Число степеней свободы		2					
Уровень значимости		0,5598					
Регрессионная статистика							
ЛД ₅₀		1 040,1838		ЛД ₅₀ Стандартнаяошибка		406,0544	
Нижняя граница ЛД ₅₀ (LD ₅₀ LCL)		606,2938		Верхняя граница ЛД50 (LD50 UCL)		2 700,4891	
Log10[ЛД50]		3,0171		Стандартнаяошибка		0,1655	
Бета		4,5122		Y-пересечение (intercept)		-8,6137	
Бета Стандартная ошибка		1,8242					

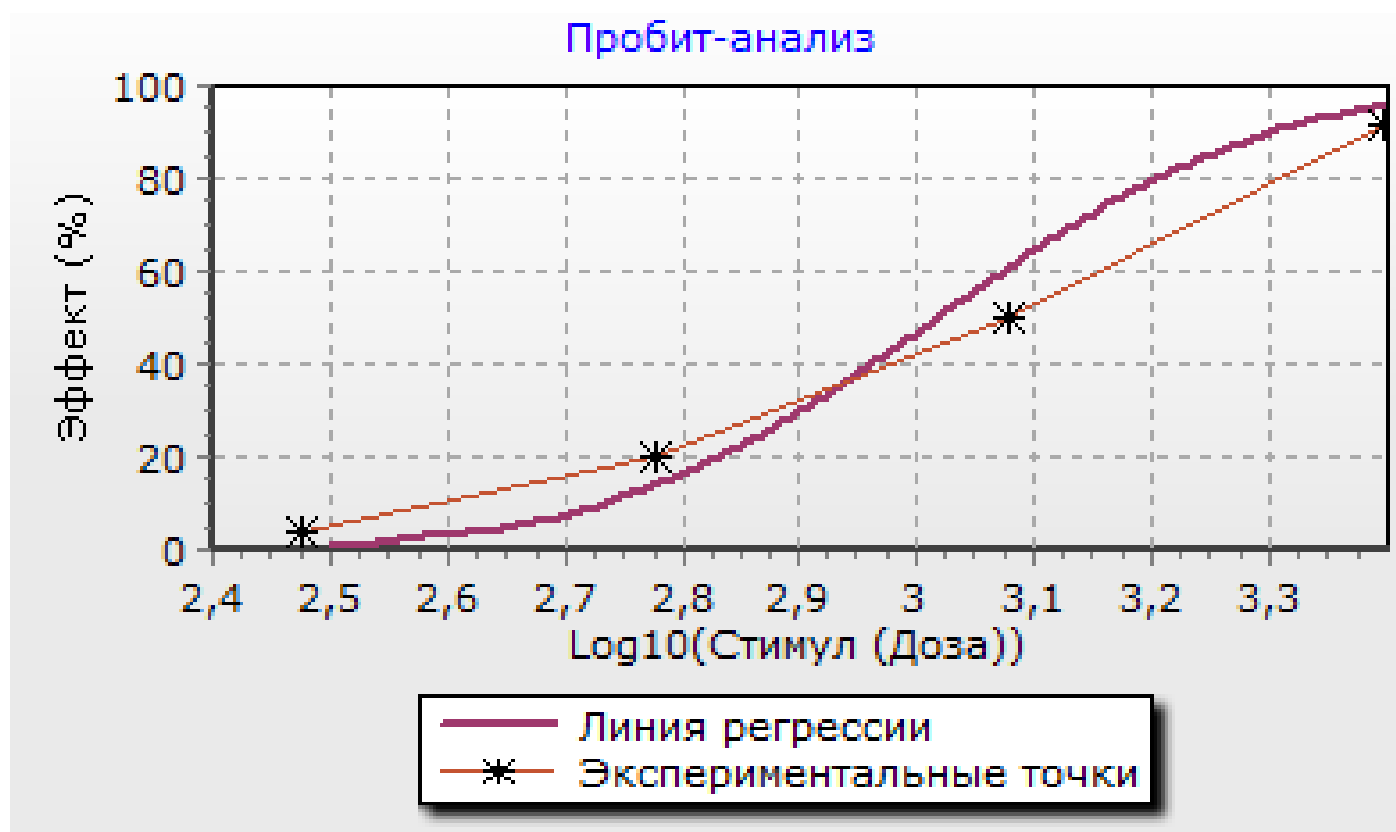


Рисунок 3 – Сигмоидальные кривые смертельных доз бурового раствора

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В технологическом процессе добычи углеводородного сырья используются буровые растворы на водной и нефтяной основе. Результатами ряда исследований установлено, что в сточных водах бурового раствора выявляется широкий спектр тяжелых металлов [7], концентрации которых достаточно различались для бу-

рового раствора на водной и нефтяной основе. Для бурового раствора на водной основе концентрации тяжелых металлов располагались в следующем порядке Fe>Zn>Cr>Pb>Cu>Ni>Cd, а для бурового раствора на нефтяной основе – Fe>Cr>Zn>Ni>Cu>Pb>Cd. В этой же работе показано наличие в буровом растворе полициклических ароматических углеводородов, общих нефтяных углеводородов. Содержание нефтяных

углеводородов в буровом растворе на нефтяной основе составило 1,6 мг/кг. Было показано, что буровые растворы, содержащие тяжелые металлы, оказывают серьезное неблагоприятное воздействие на окружающую среду [16, 17, 18].

В современной литературе накоплено большое количество фактического материала, посвященного общетоксическому и специфическому действию тяжелых металлов на млекопитающих, в том числе и население [19, 20]. Более того, наночастицы металлов, используемые в буровых растворах оказывают неблагоприятное воздействие на ихтиофауну [21]. Что касается неблагоприятного влияния углеводородов нефти на окружающую среду и здоровье населения, то по данному вопросу имеется большое количество научных работ, в которых доказано токсическое влияние углеводородов на нервную и сердечно-сосудистую систему, органы дыхания, печень и почки, кроветворную и иммунную систему [22, 23].

Буровые шламы обладают отрицательными физико-химическими, физическими и химическими свойствами [24, 25, 26]. При этом высокое содержание солей, повышенная щелочность, заплываемость, низкая аэрация, слабая фильтрационная способность могут определять особенности токсичности и опасности БШ. Попадающие из забойного пространства в буровой раствор (в последующем буровые отходы) нефтепродукты способны определять основные токсикологические свойства бурового шлама [27, 28, 29]. С точки зрения агрессивности и длительности воздействия на окружающую среду твердая фаза – наиболее опасная часть буровых отходов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в настоящей работе результаты собственных исследований указывают на то обстоятельство, что буровые растворы и буровой шлам обладают определенной токсичностью и опасностью, которая во многом зависит от их химического состава, обусловленного наличием в его составе тяжелых металлов и нефтяных углеводородов. Учитывая крайне разнообразный состав бурового раствора и бурового шлама необходимо принимать во внимание то обстоятельство, что отдельные компоненты, входящие в их состав, могут отличаться высокой токсичностью и опасностью. Найденные нами дозозависимые эффекты токсического действия бурового раствора, определяемые среднесмертельной дозой и соответствующей выживаемостью, свидетельствуют о потенциальной опасности бурового раствора и бурового шлама.

Вклад авторов:

- К. К. Байтенов – сбор и обработка материала.
- А. А. Жургенова – сбор и обработка материала.
- А. Б. Кулбаева – сбор и обработка материала.
- С. К. Бермагамбетова – обобщение литературных данных, анализ полученных результатов.
- К. Н. Шаяхметова – постановка эксперимента.
- Л. Д. Сакебаева – постановка эксперимента.

- Г. И. Карашова – постановка эксперимента.
- Ф. А. Рабаева – постановка эксперимента.
- А. А. Мамырбаев – концепция и дизайн исследования.

Конфликт интересов. Конфликт интересов не заявлен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Asadimehr Sh. Investigating the Use of Drilling Mud and the Reasons for its Use. *EJCMPR*. 2024; 3 (2): 543-551. <https://doi.org/EJCMPR/20241131>
2. Ibrahim Z. Z., Hamidi H., Afzal W., Huseyin M. Investigating the effects of nano-Fe-O- and MWCNTs on the filtration and rheological properties of water-based muds at elevated temperature and pressure. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2024; 701 (20): 134912. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.134912>
3. Девилль Ж. П. Буровые растворы. *Химия жидкостей, бурение и закачивание скважин*. Амстердам; 2022: 115-185.
4. Murtaza M., Tariq Z., Kamal M.S. et al. Improving Water-Based Drilling Mud Performance Using Biopolymer Gum: Integrating Experimental and Machine Learning Techniques. *Molecules*. 2024; 29: 2512. <https://doi.org/10.3390/molecules29112512>
5. Pan Y., Cui X., Wang H. Research Progress of Intelligent Polymer Plugging Materials. *Molecules*. 2023; 28: 2975. <https://doi.org/10.3390/molecules28072975>
6. Ali K.A.O., Hasan Sh.M., Muhsin J.J. Artificial Intelligent for Real-Time Prediction of Rheological Drilling Mud Properties. *Iraqi Geological Journal*. 2024; 57 (1E): 147-161. <https://doi.org/10.46717/igj.57.1E.10ms-2024-5-21>
7. Awaka-Ama J.J., Udo G.J., Nyong A.E. Heavy Metals, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Total Petroleum Hydrocarbons and Total Hydrocarbons Contents in Drilling Mud Effluents From Eastern Obolo Oilfield In The Niger Delta Region Of Nigeria. *J. Appl. Sci. Environ. Manage*. 2024; 28 (9): 2849-2854. <https://doi.org/10.4314/jasem.v28i9.30>
8. Ndubuisi E.C., Eguzoro C.Ch. Environmental and living organisms' disaster caused by discharge of drilling fluid waste. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 2024; 22 (01): 393-400. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.22.1.1082>
9. Саксонов М.Н., Балаян А.Э., Бархатова О.А. Токсикологическая оценка компонентов буровых растворов методами биотестирования. *Вестник Бурятского государственного университета*. 2008; 4: 80-84.
10. Прокопенко П.А., Тенищева В.Е. Определение токсичности класса опасности буровых растворов и отходов бурения экспериментальным методом. Материалы XI региональной научно-технической конференции «Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону». Ставрополь: СевКавГТУ; 2007: 278-280.
11. Никитин О.В., Насырова Э.И., Кузьмин Р.С., Миннегулова Л.М., Латыпова В.З., Ашихмина Т.Я. Влияние частиц микропластика полистирола на морфологические и функциональные показатели

Daphnia magna. *Теоретическая и прикладная экология*. 2022; 4: 96-203. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-4-196-203>

12. Шкаева И.Е., Солнцева С.А., Никулина О.С., Николаев А.И., Дулов С.А., Земляной А.В. Токсичность и опасность фталатов. *Токсикологический вестник*. 2019; 6 (159): 3-9.

13. Mfoniso A., Anthonet N.E., Cecilia N.O., Orish E.O. Environmental and public health effects of spent drilling fluid: An updated systematic review. *Journal of Hazardous Materials Advances*. 2022; 7: 100120. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100120>

14. Finney D.J. Probit analysis. Cambridge: University Press; 1980: 333.

15. Прозоровский В.Б. Статистическая обработка результатов фармакологических исследований. *Психофармакология и биологическая наркология*. 2007; 7 (3-4): 2090-2120.

16. Nwadinigwe C.A., Udo G.J., Nwadinigwe A.O. Investigations of Heavy Metals Concentrations in Leaves of *Telfairia occidentalis* (Fluted Pumpkin) within Farmland in Ibeno Coastal Area, Niger Delta, Nigeria. *Pol. J. Environ. Stud.* 2015; 24 (4): 1733-1742.

17. Nyong A., Nsi E., Awaka-Ama J., Udo G. Comparative Evaluation of the Photodegradation of Stearic Acid by TiO₂ - Modified Cement Under UV Irradiation Through Water Contact Angle and Absorbance Studies. *Adv. Mater.* 2020; 9 (1): 1-7. <https://doi.org/10.11648/j.am.20200901.11>

18. Udo G.J., Nwadinigwe C., Nwadinigwe A., Awakaama J.J. Correlation between Extractable Heavy Metals (Ni, V, Cd, and Pb) in Soil and *Colocasia Spp* (Cocoyam corm) from Farm Lands in Ibeno Coastal Area, Niger Delta, Nigeria. *J. Sci. Eng. Res.* 2017; 4 (8): 54-61.

19. Monisha J., Tenzin T., Naresh A., Blessy B.M., Krishnamurthy N.B. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdiscip. Toxicol.* 2014; 7 (2): 60-72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>

20. Brilliance O. A., Anthonet N. E., Zelinjo N. I., Orish E.O. Heavy Metal Mixture Exposure and Effects in Developing Nations: An Update. *Toxics*. 2018; 6 (4): 65. <https://doi.org/10.3390/toxics6040065>

21. Chisom E., Anthonet N.E., Kenneth M.E., Orish E.O. Metal oxide nanoparticles in oil drilling: Aquatic toxicological concerns. *Journal of Hazardous Materials Advances*. 2022; 7: 100116. <https://doi.org/10.1016/j.hazardv.2022.100116>

22. Deming X., Xu H. Particular pollutants, human health risk and ecological risk of oil-based drilling fluid: a case study of Fuling shale gas field. *Environmental Geochemistry and Health*. 2023; 45: 981-995. <https://doi.org/10.1007/s10653-022-01259-z>

23. McLoone P., Dyussupov O., Nurtlessov Zh., Kenessariyev U., Kenessary D. The effect of exposure to crude oil on the immune system. Health implications for people living near oil exploration activities. *International Journal of Environmental Health Research*. 2021; 31 (7): 762-787.

24. Семенов В.В. Экологическая идентификация источников загрязнения нефтяными углеводородами. М.: Недра; 2005: 57-61.

25. Климова А.А., Языков Е.Г., Шайхиев И.Р. Минералого-геохимическая специфика буровых шламов нефтяных месторождений на примере объектов Томской области. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2020; 331 (2): 102-114.

26. Скипин Л.Н., Скипин Д.Л., Петухова В.С., Кустышева И.Н. Эффективность влияния коагулянтов на физико-химические свойства буровых шламов. *Вестник Кемеровского государственного университета*. 2015; 4-3 (64): 88-92.

27. 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; 25 (36): 35990-36001.

28. Kujawska J., Cel W. Mobility of metals from drill cuttings. *International Journal of Waste Resources*. 2017; 7: 1-3.

29. Исхакова Д.Р., Алакаева Р.А., Габдулвалеева Э.Ф., Шайхлисламова Э.Э. Нефть и здоровье. Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 75-летию башкирской нефти. Уфа; 2007: 271-273.

TRANSLITERATION

1. Asadimehr Sh. Investigating the Use of Drilling Mud and the Reasons for its Use. *EJCMR*. 2024; 3 (2): 543-551. <https://doi.org/EJCMR/20241131>

2. Ibrahim Z. Z., Hamidi H., Afzal W., Huseyin M. Investigating the effects of nano-Fe-O- and MWCNTs on the filtration and rheological properties of water-based muds at elevated temperature and pressure. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2024; 701 (20): 134912. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.134912>

3. Devill' Zh. P. Burovye rastvory. *Himija zhidkostej, burnie i zakachivanie skvazhin*. Amsterdam; 2022: 115-185.

4. Murtaza M., Tariq Z., Kamal M.S. et al. Improving Water-Based Drilling Mud Performance Using Biopolymer Gum: Integrating Experimental and Machine Learning Techniques. *Molecules*. 2024; 29: 2512. <https://doi.org/10.3390/molecules29112512>

5. Pan Y., Cui X., Wang H. Research Progress of Intelligent Polymer Plugging Materials. *Molecules*. 2023; 28: 2975. <https://doi.org/10.3390/molecules28072975>

6. Ali K.A.O., Hasan Sh.M., Muhsin J.J. Artificial Intelligent for Real-Time Prediction of Rheological Drilling Mud Properties. *Iraqi Geological Journal*. 2024; 57 (1E): 147-161. <https://doi.org/10.46717/igj.57.1E.10ms-2024-5-21>

7. Awaka-Ama J.J., Udo G.J., Nyong A.E. Heavy Metals, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Total Petroleum Hydrocarbons and Total Hydrocarbons Contents in Drilling Mud Effluents From Eastern Obolo Oilfield In The Niger Delta Region Of Nigeria. *J. Appl. Sci. Environ. Manage*. 2024; 28 (9): 2849-2854. <https://doi.org/10.4314/jasem.v28i9.30>

8. Ndubuisi E.C., Eguzoro C.Ch. Environmental and living organisms' disaster caused by discharge of drilling fluid waste. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 2024; 22 (01): 393-400. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.22.1.1082>
9. Saksonov M.N., Balajan A.Je., Barhatova O.A. Toksikologicheskaja ocenka komponentov burovyh rastvorov metodami biotestirovaniya. *Vestnik Burjatskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2008; 4: 80-84.
10. Prokopenko P.A., Tenishheva V.E. Opredelenie toksichnosti klassa opasnosti burovyh rastvorov i othodov bureniya jeksperimental'nym metodom. *Materialy XI regional'noj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Vuzovskaja nauka – Severo-Kavkazskomu regionu»*. Stavropol': SevKavGTU; 2007: 278-280.
11. Nikitin O.V., Nasyrova Je.I., Kuz'min R.S., Minnegulova L.M., Latypova V.Z., Ashihmina T.Ja. Vlijanie chastic mikroplastika polistirola na morfologicheskie i funkcional'nye pokazateli Daphnia magna. *Teoreticheskaja i prikladnaja jekologija*. 2022; 4: 96-203. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-4-196-203>
12. Shkaeva I.E., Solnceva S.A., Nikulina O.S., Nikolaev A.I., Dulov S.A., Zemljanoj A.V. Toksichnost' i opasnost' ftalatov. *Toksikologicheskij vestnik*. 2019; 6 (159): 3-9.
13. Mfoniso A., Anthonet N.E., Cecilia N.O., Orish E.O. Environmental and public health effects of spent drilling fluid: An updated systematic review. *Journal of Hazardous Materials Advances*. 2022; 7: 100120. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100120>
14. Finney D.J. Probit analysis. Cambridge: University Press; 1980: 333.
15. Prozorovskij V.B. Statisticheskaja obrabotka rezul'tatov farmakologicheskikh issledovanij. *Psihofarmakologija i biologicheskaja narkologija*. 2007; 7 (3-4): 2090-2120.
16. Nwadinigwe C.A., Udo G.J., Nwadinigwe A.O. Investigations of Heavy Metals Concentrations in Leaves of Telfairia occidentalis (Fluted Pumpkin) within Farmland in Ibeno Coastal Area, Niger Delta, Nigeria. *Pol. J. Environ. Stud*. 2015; 24 (4): 1733-1742.
17. Nyong A., Nsi E., Awaka-Ama J., Udo G. Comparative Evaluation of the Photodegradation of Stearic Acid by TiO₂ - Modified Cement Under UV Irradiation Through Water Contact Angle and Absorbance Studies. *Adv. Mater*. 2020; 9 (1): 1-7. <https://doi.org/10.11648/j.am.20200901.11>
18. Udo G.J., Nwadinigwe C., Nwadinigwe A., Awakaama J.J. Correlation between Extractable Heavy Metals (Ni, V, Cd, and Pb) in Soil and Colocasia Spp (Cocoyam corm) from Farm Lands in Ibeno Coastal Area, Niger Delta, Nigeria. *J. Sci. Eng. Res*. 2017; 4 (8): 54-61.
19. Monisha J., Tenzin T., Naresh A., Blessy B.M., Krishnamurthy N.B. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdiscip. Toxicol*. 2014; 7 (2): 60-72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>
20. Brilliance O. A., Anthonet N. E., Zelinjo N. I., Orish E.O. Heavy Metal Mixture Exposure and Effects in Developing Nations: An Update. *Toxics*. 2018; 6 (4): 65. <https://doi.org/10.3390/toxics6040065>
21. Chisom E., Anthonet N.E., Kenneth M.E., Orish E.O. Metal oxide nanoparticles in oil drilling: Aquatic toxicological concerns. *Journal of Hazardous Materials Advances*. 2022; 7: 100116. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100116>
22. Deming X., Xu H. Particular pollutants, human health risk and ecological risk of oil-based drilling fluid: a case study of Fuling shale gas field. *Environmental Geochemistry and Health*. 2023; 45: 981-995. <https://doi.org/10.1007/s10653-022-01259-z>
23. McLoone P., Dyussupov O., Nurtlessov Zh., Kenessariyev U., Kenessary D. The effect of exposure to crude oil on the immune system. Health implications for people living near oil exploration activities. *International Journal of Environmental Health Research*. 2021; 31 (7): 762-787.
24. Semenov V.V. Jekologicheskaja identifikacija istochnikov zagrjazneniya nef'tjanyymi uglevodorodami. M.: Nedra; 2005: 57-61.
25. Klimova A.A., Jazikov E.G., Shajhiev I.R. Mineralogo-geohimicheskaja specifika burovyh shlamov nef'tjanyh mestorozhdenij na primere ob'ektov Tomskoj oblasti. *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2020; 331 (2): 102-114.
26. Skipin L.N., Skipin D.L., Petuhova V.S., Kustysheva I.N. Jefferektivnost' vlijaniya koagulyantov na fiziko-himicheskie svojstva burovyh shlamov. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015; 4-3 (64): 88-92.
27. 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; 25 (36): 35990-36001.
28. Kujawska J., Cel W. Mobility of metals from drill cuttings. *International Journal of Waste Resources*. 2017; 7: 1-3.
29. Ishakova D.R., Alakaeva R.A., Gabdulvaleeva Je.F., Shajhislamova Je.Je. Neft' i zdorov'e. *Sbornik nauchnyh trudov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvjashhennoj 75-letiju bashkirskoj nefti*. Ufa; 2007: 271-273.

Поступила 09.01.2025

Принята 19.02.2025

Опубликована online 31.03.2025

K. K. Baitenov¹, A. A. Zhurgenova¹, A. B. Kulbayeva^{1*}, S. K. Bermagambetova¹, K. N. Shayakhmetova¹, L. D. Sakebayeva¹, G. I. Karashova¹, F. A. Rabayeva¹, A. A. Mamyrbaev¹

CHEMICAL COMPOSITION AND TOXICOLOGICAL PROPERTIES OF DRILLING MUD

¹West Kazakhstan Medical University named after Marat Ospanov NC JSC (030019, Republic of Kazakhstan, Aktobe city, Maresyeva st., 68; e-mail: info@zkmk.kz).

***Ainur Kulbayeva** – Department of Preventive Medicine, West Kazakhstan Medical University named after Marat Ospanov NC JSC; 030019, Republic of Kazakhstan, Aktobe city, Maresyeva st., 68; e-mail: anon_88@mail.ru)

Aim. Investigation of the chemical composition of drilling fluid and its toxicity based on the assessment of average lethal doses.

Materials and methods. The chemical composition of drilling fluid and drilling mud for metals and inorganic oxides was studied by atomic absorption spectroscopy (AgilentAA240FS), as well as using atomic emission spectroscopy. In an experiment on mature male rats, the average lethal dose of drilling fluid was established with intraperitoneal single injection.

Results and discussion. The results of our own research presented in this paper indicate that drilling fluid and drilling mud have a diverse chemical composition due to the presence of heavy metals and inorganic oxides in them. Pb and As are found in the drilling fluid, and As, Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn; P₂O₅, SiO₂, CaO, Na₂O, and K₂O in the drilling mud. In acute experience, under conditions of a single intraperitoneal injection of drilling fluid, lethal doses (LD₁₆, LD₅₀, LD₈₄, LD₁₀₀), as well as survival rates, were established. The dose-dependent effects of the toxic effect of drilling fluid, determined by the average lethal dose and the corresponding survival rate, indicate the potential danger of drilling fluid and drilling mud.

Conclusions. Drilling fluid and drilling mud have a certain toxicity and danger, which largely depends on their chemical composition due to the presence of heavy metals and inorganic oxides. The established lethal doses and survival rates indicate moderate toxicity of drilling fluid.

Key words: drilling fluid; chemical composition; heavy metals; average lethal dose; experiment

K. K. Байтенов¹, А. А. Жургенова¹, А. Б. Кулбаева^{1*}, С. К. Бермагамбетова¹, К. Н. Шаяхметова¹, Л. Д. Сакебаева¹, Г. И. Карашова¹, Ф. А. Рабаева¹, А. А. Мамырбаев¹

БҰРҒЫЛАУ ЕРІТІНДІСІНІҢ ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫ ЖӘНЕ ТОКСИКОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

¹КеАҚ «Марат Оспанов атындағы Батыс Қазақстан медицина университеті» (030019, Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ., Маресьева көш., 68; e-mail: info@zkmk.kz)

***Айнур Бейімбетқызы Кулбаева** – КеАҚ «Марат Оспанов атындағы Батыс Қазақстан медицина университеті»; 030019, Қазақстан, Ақтөбе қ., Маресьева көш., 68; e-mail: anon_88@mail.ru)

Зерттеудің мақсаты. Орташа өлімге әкелетін дозаларды бағалау негізінде бұрғылау ерітіндісінің химиялық құрамын және оның уыттылығын зерттеу.

Материалдар және әдістер. Металдар мен Бейорганикалық оксидтерге бұрғылау ерітіндісі мен бұрғылау шламының химиялық құрамын зерттеу атомдық-абсорбциялық спектроскопия (AgilentAA240FS) әдісімен, сондай-ақ атомдық-эмиссиялық спектроскопияны қолдану арқылы жүргізілді. Жыныстық жетілген еркек егеуқұйрықтарға жүргізілген экспериментте құрсақшілік бір реттік енгізу кезінде бұрғылау ерітіндісінің орташа өлімге әкелетін дозасы анықталды.

Нәтижелер және талқылау. Осы жұмыста ұсынылған өз зерттеулерінің нәтижелері бұрғылау ерітіндісі мен бұрғылау шламының құрамында ауыр металдар мен Бейорганикалық оксидтердің болуына байланысты химиялық құрамның алуан түрлілігімен ерекшеленетіндігін көрсетеді. Бұрғылау ерітіндісінде Pb және As, бұрғылау шламында табылғандар, Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn; P₂O₅, SiO₂, CaO, Na₂O, K₂O. өткір тәжірибеде, бұрғылау ерітіндісін бір рет құрсақшілік енгізу жағдайында өлімге әкелетін дозалар (LD₁₆, LD₅₀, LD₈₄, LD₁₀₀), сондай-ақ өмір сүру деңгейі. Орташа өлімге әкелетін дозамен және тиісті өмір сүрумен анықталатын бұрғылау ерітіндісінің уытты әсерінің біз тапқан дозаға тәуелді әсерлері бұрғылау ерітіндісі мен бұрғылау шламының ықтимал қауіптілігін көрсетеді.

Қорытындылар. Бұрғылау ерітіндісі мен бұрғылау шламының белгілі бір уыттылығы мен қауіптілігі бар, бұл көбінесе ауыр металдар мен Бейорганикалық оксидтердің болуына байланысты олардың химиялық құрамына байланысты. Белгіленген өлім дозалары мен өмір сүру деңгейі бұрғылау ерітіндісінің орташа уыттылығын көрсетеді.

Кілт сөздер: бұрғылау ерітіндісі; бұрғылау шламы; химиялық құрамы; ауыр металдар; орташа өлім дозасы; тәжірибе