

УДК: 622.21; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2025-4.03>

<https://orcid.org/0000-0003-1721-119X>

<https://orcid.org/0000-0002-5346-3004>

<https://orcid.org/0000-0001-5913-4490>

<https://orcid.org/0009-0002-9665-2662>

<https://orcid.org/0000-0002-5025-4995>

<https://orcid.org/0000-0002-3507-3096>

<https://orcid.org/0000-0003-4707-3322>

<https://orcid.org/0000-0002-3743-7308>

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛОТНОСТИ БУРОВОГО РАСТВОРА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ



М.Д. САРБОПЕЕВА¹,
доктор PhD, ассоц. профессор
кафедры « Нефтехимический
инжиниринга»,
manshuk.sarboppeva@yu.edu.kz



З.Т. МАТАЕВА²,
кандидат химических наук,
ассоциированный профессор,
zaira.mataeva@mail.ru



М.М. ӘЛИАКБАР²,
доктор PhD,
ассоц. профессор,
m.aliakbar@satbayev.university



С.К. МУРАТОВА²,
кандидат технических наук,
ассоц. профессор кафедры
«Гидрогеология, инженерная и
нефтегазовая геология»,
s.muratova@satbayev.university

А.Е. КУТТЫБАЕВ², кандидат технических наук, профессор, a.kuttybayev@satbayev.university

А.О. ЖАЙЛИЕВ¹, докторант PhD, кафедры «Нефтехимический инжиниринг»,
zhajlev1977@mail.ru

Б.Т. РАТОВ², доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Геофизика и сейсмология»
b.ratov@satbayev.university

М.Т. АРШИДИНОВА³, кандидат технических наук, ассоц. профессор, arshidinova_m@mail.ru

¹YESSENOV UNIVERSITY

Республика Казахстан, 130000 г. Актау, 32 мкр.

²SATBAYEV UNIVERSITY

Республика Казахстан, 050013, г. Алматы, ул.Сатпаева, 22

³CASPIAN UNIVERSITY

Республика Казахстан, 050000, проспект Достык 85А, Алматы

В данной работе поддержание необходимой плотности бурового раствора с использованием утяжелителей, таких как сульфат бария ($BaSO_4$), рассматривается как ключевой фактор обеспечения устойчивости ствола скважины и предотвращения осложнений при бурении. Однако внедрение барита в состав бурового раствора может вызывать загрязнение продуктивных пластов, снижая их проницаемость и продуктивность. Проникновение твердых частиц барита в поровое пространство приводит к закупорке пор и фильтрационных каналов, что зачастую становится необратимым без применения специализированных методов очистки.

Для снижения риска загрязнения необходимо оптимизировать состав бурового раствора и контролировать параметры бурения. Применение ингибиторов кристаллизации, стабилизаторов и полимерных добавок способствует снижению оседаемости барита и уменьшает его адгезию к стенкам пор. Это позволяет существенно снизить вероятность повреждения продуктивных интервалов.

При уже произошедшем загрязнении используются восстановительные технологии. Механическая очистка, включая промывку скважины под давлением, может быть эффективной при поверхностном засорении, однако ограничена при глубоком проникновении частиц. Более перспективным направлением является использование хелатирующих агентов, способных связывать ионы бария и разрушать баритовые отложения. Эффективность таких реагентов зависит от физических и химических характеристик коллектора.

Альтернативой выступают специализированные растворители, селективно растворяющие барит в поровом пространстве. Их применение требует инженерного обоснования и лабораторной верификации.

Комплексный подход, включающий корректировку состава раствора, контроль технологических параметров и своевременное применение химических реагентов, способствует сохранению продуктивности пластов и снижению эксплуатационных затрат при бурении скважин.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сульфат бария, загрязнение, скважины, плотность, бурение, флюид, раствор, фильтрация, пласт, давление, кислота.

ӨНІМДІЛІК ҚАБАТТАРЫНЫҢ ЗАҚЫМДАНУЫ МЕН ЛАСТАНУЫН АЗАЙТУ ҮШІН БҰРҒЫЛАУ ЕРІТІНДІСІНІҢ ТЫҒЫЗДЫҒЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

М.Д. САРБОПЕЕВА¹, PhD, қауымдастырылған профессор, *manshuk.sarbopeyeva@yu.edu.kz*

З.Т. МАТАЕВА², химия ғылымдарының кандидаты кандидат химических наук, қауымдастырылған профессор, *zaira.mataeva@mail.ru*

М.М. ӘЛИАКБАР², доктор PhD, қауымдастырылған профессор, *m.aliakbar@satbayev.university*

С.К. МУРАТОВА², техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, *s.muratova@satbayev.university*

А.Е. КУТТЫБАЕВ², техника ғылымдарының кандидаты, профессор,

a.kuttybayev@satbayev.university

А.О. ЖАЙЛИЕВ¹, «Мұнайхимиялық инжиниринг» кафедрасының PhD докторанты, *zhajlev1977@mail.ru*

Б.Т. РАТОВ², техника ғылымдарының докторы, профессор, «Геофизика және сейсмология» кафедрасының меңгерушісі, *b.ratov@satbayev.university*

М.Т. АРШИДИНОВА³, техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, *arshidinova_m@mail.ru*

¹YESSEN OV UNIVERSITY,

Қазақстан Республикасы, 130000, Ақтау қ., 32 ш/а.

²SATBAYEV UNIVERSITY,

Қазақстан Республикасы, 050013, Сәтбаевк-сі, 22

³CASPIAN UNIVERSITY

Қазақстан Республикасы, 050000, Алматы қ., Достық даңғылы 85А,

Осы жұмыста бурылу ерітіндісінің қажетті тығыздығын барий сульфаты ($BaSO_4$) сияқты ауырлатқыштарды пайдалана отырып ұстап тұру скважинаның бұрылысының тұрақтылығын қамтамасыз ету және бұрылыстағы қиындықтардың алдын алу үшін маңызды фактор ретінде қарастырылады. Алайда бариттің ерітінді құрамына енгізілуі өнімді қабаттардың ластануына әкеліп, олардың өткізгіштігі мен өнімділігін төмендетеді. Бариттің қатты бөлшектерінің тесіктер кеңістігіне енуі тесіктер мен сүзгі каналының бітелуіне себеп болып, көбіне арнайы тазалау әдістерін қолданбай қайтарылмайтын жағдайға айналады.

Тазартылу қаупін азайту үшін бурылу ерітіндісінің құрамын оңтайландыру және бұрылыстың параметрлерін мұқият бақылау қажет. Кристалдану ингибиторлары, тұрақтандырғыштар және полимерлі қоспаларды қолдану бариттің шөгінуді азайтып, оның тесіктер қабырғасына жабысып қалуын төмендетеді. Бұл өнімді қабаттардың зақымдану ықтималдығын айтарлықтай азайтады.

Қазірдің өзінде ластанған жағдайда қалпына келтіру технологиялары қолданылады. Механикалық тазалау, оның ішінде жоғары қысыммен жуу, беткейдегі бөгеттерді жоюға тиімді болуы мүмкін, бірақ бөлшектердің терең енуіне әсері шектеулі. Көбірек үміт күттіретін әдіс - барий иондарын байлап, барит шөгінділерін бұзатын хелаттаушы агенттерді пайдалану. Бұл реагенттердің тиімділігі коллектордың физикалық және химиялық ерекшеліктеріне байланысты.

Сонымен қатар, баритті селективті ерітетін арнайы еріткіштер бар. Олардың қолданылуы инженерлік негіздеуді және зертханалық тексерулерді талап етеді.

Бұрылыстың технологиялық параметрлерін бақылаумен және химиялық реагенттерді уақытылы қолданумен ерітіндінің құрамын оңтайландыру кешенді тәсілі өнімді қабаттардың тиімділігін сақтап, эксплуатациялық шығындарды азайтуға мүмкіндік береді.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: сульфат бария, ластану, ұңғыма, тығыздық, бұрғылау, флюид, ерітінді, сүзгілеу, қабат, қысым, қышқыл.

OPTIMIZATION OF DRILLING FLUID DENSITY TO REDUCE DAMAGE AND CONTAMINATION OF PRODUCTIVE LAYERS

M.D. SARBOPEYEVA¹, PhD, associate professor, manshuk.sarbopeyeva@yu.edu.kz

Z.T. MATAEVA², candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, zaira.mataeva@mail.ru

M.M. ALIAKBAR², PhD. Professor, m.aliakbar@satbayev.university

S.K. MURATOVA², candidate of Technical Sciences, Associate Professor, S.muratova@satbayev.university

A.E. KUTTYBAEV², candidate of technical sciences, professor, a.kuttybayev@satbayev.university

A.O. ZHAILIEV¹, PhD student of the Department "Petrochemical Engineering", zhaj-lev1977@mail.ru

B.T. RATOV², doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Geophysics and seismology Department, b.ratov@satbayev.university

M.T. ARSHIDINOVA³, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, arshidinova_m@mail.ru

¹YESSEN OV UNIVERSITY

Republic of Kazakhstan, 130000, Aktau, 32 md.

²SATBAYEV UNIVERSITY

Republic of Kazakhstan, 050043, Almaty, Satpayev st. 22

³CASPIAN UNIVERSITY

Republic of Kazakhstan, 050000, Dostyk Avenue 85A, Almaty

This work considers maintaining the required density of drilling mud using weighting agents such as barium sulfate (BaSO_4) as a key factor in ensuring wellbore stability and preventing complications during drilling. However, the introduction of barite into the drilling fluid can cause contamination of productive formations, reducing their permeability and productivity. Penetration of solid barite particles into the pore space leads to clogging of pores and filtration channels, which often becomes irreversible without specialized cleaning methods.

To reduce the risk of contamination, it is necessary to optimize the composition of the drilling fluid and carefully control drilling parameters. The use of crystallization inhibitors, stabilizers, and polymer additives helps reduce barite sedimentation and decrease its adhesion to pore walls. This significantly lowers the likelihood of damage to productive intervals.

In cases of existing contamination, restorative technologies are applied. Mechanical cleaning, including high-pressure well flushing, may be effective for surface-level clogging but has limited effectiveness for deep particle penetration. A more promising approach is the use of chelating agents capable of binding barium ions and breaking down barite deposits. The effectiveness of these reagents depends on the physical and chemical characteristics of the reservoir.

An alternative solution involves specialized solvents designed for selective dissolution of barite in the pore space. Their application requires engineering justification and laboratory verification.

A comprehensive approach, including optimization of the drilling fluid composition, control of technological parameters, and timely application of chemical reagents, helps maintain formation productivity and reduce operational costs during well drilling.

KEYWORDS: barium sulfate, contamination, wells, density, drilling, fluid, solution, filtration, formation, pressure, acid.

Введение. Бурение нефтяных и газовых скважин с учетом сложного геологического строения - это сложный процесс, который требует точного контроля параметров бурового раствора [1,2]. Одним из ключевых параметров является плотность раствора, которая обеспечивает стабильность скважины и предот-

вращает выбросы флюидов [3,4]. Однако поддержание плотности с использованием утяжелителей, таких как сульфат бария (BaSO_4) может привести к загрязнению и повреждению продуктивных пластов. В этой теме мы рассмотрим, как это происходит и какие меры можно предпринять для минимизации негативных последствий [5].

Буровой раствор играет критически важную роль в процессе бурения. Он не только охлаждает и смазывает буровое долото, но и обеспечивает гидростатическое давление, необходимое для предотвращения выбросов нефти или газа из пласта. Плотность раствора должна быть тщательно рассчитана, чтобы уравновесить пластовое давление, но при этом не превышать его настолько, чтобы вызвать разрушение породы или проникновение раствора в продуктивные пласты. Для достижения нужной плотности в раствор добавляют утяжелители, такие как сульфат бария, который обладает высокой плотностью и химической устойчивостью [6].

Однако использование сульфата бария имеет свои недостатки. Во время бурения буровой раствор может проникать в пористые и проницаемые породы продуктивных пластов. Твердые частицы BaSO_4 , содержащиеся в растворе, оседают в порах и трещинах, что приводит к снижению проницаемости пласта. Это явление, известное как загрязнение пласта, может значительно снизить продуктивность скважины, затрудняя добычу нефти или газа [7]. Кроме того, на стенках скважины может образоваться слой сульфата бария, который блокирует приток флюидов и требует дополнительных затрат на очистку.

Загрязнение пласта не только снижает экономическую эффективность добычи, но и может привести к экологическим рискам. Например, повреждение пласта может вызвать утечку флюидов в окружающие породы или даже на поверхность. Поэтому важно не только правильно подбирать состав бурового раствора, но и использовать технологии, которые минимизируют его проникновение в продуктивные пласты.

В данной статье мы подробно рассмотрим механизмы загрязнения пласта, связанные с использованием сульфата бария, а также методы предотвращения и устранения этих проблем. Мы также обсудим современные подходы к оптимизации состава бурового раствора и технологии, которые позволяют снизить негативное воздействие на пласт. Понимание этих процессов поможет повысить эффективность бурения и минимизировать риски, связанные с загрязнением продуктивных пластов.

Материалы и методы исследования

На практике барит (BaSO_4) широко используется в буровых растворах для увеличения их плотности. Это особенно важно при бурении в сложных геологических условиях [8-10], где необходимо предотвратить выбросы нефти или газа. Барит также используется для стабилизации стенок скважины и предотвращения их обрушения. Однако при его использовании необходимо учитывать потенциальные проблемы, такие как забивание пор пласта и снижение проницаемости [11-13].

Гидродинамика пласта изучает движение жидкостей и газов через пористые и проницаемые среды, такие как нефтяные и газовые коллекторы [14,15]. Для этого буровой раствор должен создавать давление, достаточное для противодействия пластовому давлению. Барит, благодаря своей высокой плотности ($\sim 4,5 \text{ г/см}^3$), позволяет увеличить плотность бурового раствора, что помогает поддерживать необходимое гидростатическое давление.

Однако при проникновении бурового раствора в продуктивный пласт частицы барита могут взаимодействовать с пористой средой, что влияет на фильтрационные свойства пласта. Это взаимодействие описывается законом Дарси.

Влияние барита на параметры закона Дарси. При использовании барита в буровых растворах могут происходить изменения в параметрах, которые влияют на фильтрацию согласно закону Дарси:

Проницаемость пласта (kk):

- Частицы барита, особенно мелкодисперсные, могут проникать в поры пласта, забивая их и уменьшая проницаемость.

- Это приводит к снижению скорости фильтрации (QQ) и может ухудшить продуктивность скважины.

- В некоторых случаях забивание пор баритом может быть настолько значительным, что потребуются проведение дополнительных мероприятий, таких как кислотная обработка или гидроразрыв пласта, для восстановления проницаемости.

Перепад давления (ΔP):

- Барит увеличивает плотность бурового раствора, что позволяет поддерживать высокое гидростатическое давление в скважине.

- Однако, если давление в скважине превышает пластовое давление, это может привести к проникновению бурового раствора в пласт, что усиливает забивание пор частицами барита.

- С другой стороны, если давление в скважине недостаточно высокое, это может привести к выбросу флюидов из пласта, что опасно для процесса бурения.

Вязкость жидкости (μ):

- Добавление барита в буровой раствор может увеличить его вязкость, что влияет на скорость фильтрации.

- Высокая вязкость может замедлить проникновение бурового раствора в пласт, но также может затруднить очистку скважины от шлама и снизить эффективность бурения.

Проблемы, связанные с баритом и гидродинамикой пласта

Снижение проницаемости пласта:

- Забивание пор частицами барита уменьшает проницаемость пласта, что приводит к снижению дебита скважины.

- Это особенно критично для низкопроницаемых пластов, где даже небольшое снижение проницаемости может значительно ухудшить продуктивность.

Образование баритовой корки:

- На стенках скважины может образовываться плотный слой барита, который снижает фильтрацию бурового раствора.

- Однако при сильных перепадах давления эта корка может разрушаться, что приводит к ещё большему проникновению барита в пласт.

Ионный обмен и осадкообразование:

- Если в пластовой воде присутствуют сульфаты или кальций, барит может взаимодействовать с ними, образуя твёрдые осадки в порах пласта.

- Это дополнительно снижает проницаемость и ухудшает гидродинамические свойства пласта.

Результаты и обсуждение

Для минимизации этих проблем необходимо тщательно подбирать состав бурового раствора и контролировать процесс бурения. Давайте разберёмся подробнее.

Барит может осаждаться при взаимодействии ионов бария (Ba^{2+}), содержащихся в буровом растворе, с сульфат-ионами (SO_4^{2-}), которые могут присутствовать в пластовой воде или других компонентах системы. Реакция выглядит следующим образом:

Образовавшийся барит ($BaSO_4$) плохо растворим в воде и может откладываться в порах породы, оборудовании скважины или на стенках ствола.

Молекулярная структура сульфата бария ($BaSO_4$), Фиолетовые сферы - ионы бария (Ba^{2+}), жёлтые - сера, а красные - атомы кислорода в составе сульфатной группы (SO_4^{2-}) (рисунок 1).

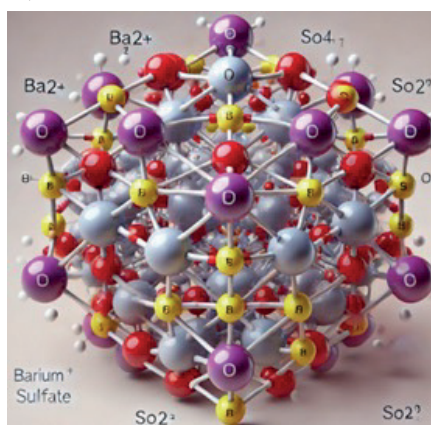


Рисунок 1 - Молекулярная структура сульфата бария ($BaSO_4$)

Растворимость: $BaSO_4$ - слабо растворимое соединение в воде и большинстве кислот. При повышении температуры его растворимость практически не увеличивается, что сохраняет его стабильность в буровых растворах. Это особенно важно для длительных операций, где раствор должен сохранять свои свойства в течение нескольких недель или месяцев. Низкая растворимость также минимизирует риск вымывания барита из бурового раствора, что помогает поддерживать постоянную плотность и снижает вероятность потерь циркуляции.

Влияние давления: барит - плотный материал (плотность $\sim 4,5$ г/см³), и его структура выдерживает высокие давления без деформации или разрушения. В условиях высоких давлений он сохраняет свои механические свойства и продолжает эффективно увеличивать плотность раствора. Это позволяет использовать его для компенсации гидростатического давления в глубоких скважинах, предотвращая прорывы флюидов и стабилизируя стенки ствола скважины.

Для изучения поведения барита в буровых растворах и его влияния на пласт используются различные методы. Одним из основных методов является лабораторное моделирование, при котором создаются условия, близкие к реальным условиям бурения.

В лаборатории изучаются термостойкость, растворимость и механические свойства барита при различных температурах и давлениях. Также проводился исследо-

вания по определению оптимального размера частиц барита, который обеспечивает минимальное забивание пор пласта.

Кроме того, используются динамические симуляторы циркуляции, позволяющие оценить поведение бурового раствора в движении и его взаимодействие с породой.

На гистограмме цветом выделены частицы барита, соответствующие оптимальному размеру — 20-40 μm . Этот диапазон обеспечивает минимальное забивание пор пласта и оптимальные характеристики бурового раствора (рисунок 2).

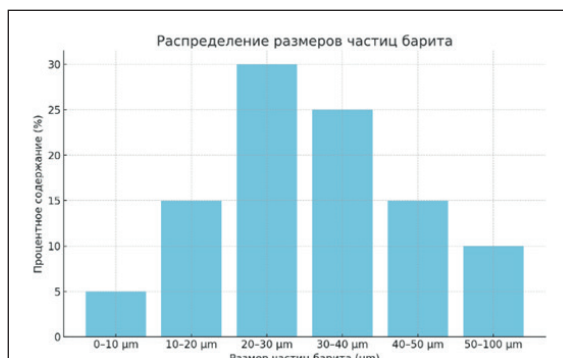


Рисунок 2 – На гистограмме цветом выделены размеры частиц барита

Интерпретация: оптимальный диапазон (20-40 μm). На гистограмме видно, что наибольшее количество частиц (55%) находится в оптимальном диапазоне 20-40 μm . Это указывает на то, что барит соответствует требованиям для эффективного использования в буровых растворах.

Выделенные столбцы (20-30 μm и 30-40 μm) показывают, что большая часть частиц имеет размер, который минимизирует забивание пор пласта.

Мелкие частицы (0-20 μm): частицы размером менее 20 μm составляют 20% (5% + 15%). Они могут проникать в поры пласта, но их количество незначительно, что снижает риск забивания.

Крупные частицы (40-100 μm): частицы размером более 40 μm составляют 25% (15% + 10%). Они могут быть полезны для утяжеления, но их избыток может привести к седиментации (оседанию) в буровом растворе.

Гистограмма показывает, что барит имеет хорошее распределение размеров частиц с преобладанием оптимального диапазона (20-40 μm). Это делает его пригодным для использования в буровых растворах с минимальным риском забивания пор пласта.

В некоторых случаях это может вызвать необходимость проведения дополнительных работ по очистке пласта, таких как кислотная обработка или гидроразрыв пласта. Для минимизации таких случаев применяются превентивные меры, включая использование специальных ингибиторов осадкообразования и добавок, препятствующих агломерации частиц барита. Тщательно контролировать давление в скважине и использовать специальные добавки, которые предотвращают образование плотных корок, помогают сократить риски осложнений и минимизировать повреждение коллектора.

Для изучения фильтрационных свойств буровых растворов с баритом используются специальные установки, которые позволяют моделировать процесс фильтра-

ции в пористых средах. Это позволяет определить, как частицы барита взаимодействуют с породой и как это влияет на проницаемость пласта. Для предотвращения этого необходимо использовать буровые растворы с оптимальным размером частиц барита, которые не будут забивать поры пласта. Оптимизация гранулометрического состава барита и добавление диспергирующих агентов позволяет существенно улучшить фильтрационные свойства раствора [16-17].

Кроме того, для анализа химического взаимодействия барита с пластовой водой и другими компонентами бурового раствора используются методы химического анализа, такие как спектроскопия и хроматография. Это позволяет определить, какие химические реакции происходят в пласте и как они влияют на свойства барита.

Для предотвращения этого необходимо провести предварительный анализ пластовой воды и использовать ингибиторы осадкообразования. Понимание химической совместимости барита с флюидами пласта позволяет прогнозировать возможные осложнения и разрабатывать более устойчивые буровые растворы.

Оптимизация бурового раствора. Контроль фильтрации. Добавки типа КМЦ (карбок-симетилцеллюлоза) или ксантановая камедь помогают снизить фильтрацию раствора и ограничить проникновение твёрдых частиц в поры пласта.

Регулировка вязкости. Более вязкие растворы (например, с полимерами) могут ограничить проникновение утяжелителя в пласт, но важно не переборщить - слишком высокая вязкость усложнит циркуляцию бурового раствора. Правильный баланс между вязкостью и фильтрационными потерями позволяет добиться оптимальной производительности и минимизировать риск осложнений.

Использование утяжелителей с узким гранулометрическим составом [18]. Мелкодисперсные частицы (например, микронизированный барит) проникают в пласт в меньшей степени, чем крупные, поэтому контроль размера частиц важен для минимизации загрязнения.

Защитные буферные системы. Применение уплотняющих агентов (например, волокнистых материалов или кальцитовых частиц) помогает создать на поверхности коллектора защитный слой, который препятствует проникновению утяжелителя в поры. Это значительно снижает вероятность кольматажа и сохраняет продуктивность пласта.

Кислотная обработка может быть эффективным методом для увеличения продуктивности терригенных пород, таких как пески и песчаники, но её применение зависит от конкретных условий и характеристик пласта. Однако, если загрязнение баритом уже произошло, кислотная обработка может быть не лучшим решением, так как барит (сульфат бария) плохо растворяется в кислотах, включая соляную кислоту (HCl). Это может привести к дополнительным осложнениям, таким как закупорка пор и снижение проницаемости.

Если барит уже проник в поры, возможно, стоит рассмотреть другие методы, такие как:

- Механическая очистка (например, промывка скважины).
- Использование хелатирующих агентов, которые могут связывать барий и способствовать его удалению.
- Применение специализированных растворителей, разработанных для удаления барита.

1. Механическая очистка (промывка скважины). Механическая очистка направлена на физическое удаление загрязнений из пор пласта или ствола скважины. В случае с баритом это может включать:

Промывка скважины: Использование бурового раствора или специальных промывочных жидкостей для вымывания частиц барита из пор. Это может быть эффективно, если барит находится в призабойной зоне скважины (близко к стволу).

Растворы для промывки: Часто используются растворы на основе воды или нефти с добавлением поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые помогают диспергировать и выносить частицы барита.

Гидравлическая промывка: Высоконапорная промывка для разрушения и выноса загрязнений.

Механическая очистка ствола скважины: Использование скребков, щеток или других инструментов для удаления отложений барита со стенок скважины.

Гидроразрыв пласта (ГРП): В некоторых случаях может быть применен гидроразрыв для создания новых трещин в пласте, что позволяет обойти зоны, закупоренные баритом.

2. Использование хелатирующих агентов. Хелатирующие агенты - это химические вещества, которые добавляются в буровые растворы или другие технологические жидкости для предотвращения образования и осаждения барита. Они работают за счет связывания ионов бария (Ba^{2+}) или сульфат-ионов (SO_4^{2-}). Это предотвращает их взаимодействие и образование барита.

Стабилизации частиц барита. Ингибиторы могут препятствовать агрегации и осаждению уже образовавшихся частиц барита

Примеры хелатирующих агентов:

- Этилендиаминтетрауксусная кислота (EDTA). Широко используется для связывания ионов бария. EDTA образует устойчивые комплексы с барием, что способствует его растворению. Давайте посмотрим на химические реакции

В этой реакции:

- EDTA связывает ион бария (Ba^{2+}) в прочный комплекс, помогая разрушить кристаллическую структуру барита.

- Сульфат-ион (SO_4^{2-}) остаётся в растворе.

После связывания бария в комплекс с EDTA можно осадить его, добавив другой реагент, например, карбонат натрия:

Эти реакции демонстрируют, как хелатирующие агенты могут помочь извлечь барий из загрязнённых пород

- Диэтилентриаминпентауксусная кислота (ДТПА) - ещё один эффективный хелатирующий агент, который может использоваться для удаления бария.

ДТПА ($C_{14}H_{23}N_3O_{10}$) - то мощный хелатирующий агент, который образует стабильные комплексы с ионами металлов, включая барий.

Вот основные химические реакции:

- ДТПА захватывает ион бария (Ba^{2+}) из кристаллической решётки барита.

- В результате образуется растворимый комплекс $[Ba(ДТПА)]^{3-}$, а сульфат-ион остаётся в растворе.

3. Применение специализированных растворителей. Специализированные растворители разрабатываются для растворения или диспергирования барита. Эти

растворы могут быть на основе органических или неорганических соединений.

Примеры растворителей:

- Органические кислоты. Например, уксусная кислота или муравьиная кислота. Они менее агрессивны, чем минеральные кислоты, но могут быть эффективны для растворения некоторых минеральных отложений.

- Специальные реагенты на основе тиолов или тиогликолевой кислоты. Эти соединения могут взаимодействовать с баритом, переводя его в растворимые формы.

- Комплексные растворители. Коммерческие препараты, разработанные специально для удаления барита и других сульфатных отложений.

- Применение. Растворители закачиваются в пласт, где они взаимодействуют с баритом. После реакции раствор вымывается из пласта.

- Преимущества. Высокая эффективность при правильном подборе реагента. Возможность обработки глубоких слоев породы.

Заключение и выводы

Таким образом, грамотная оптимизация состава бурового раствора с учётом термостойкости, растворимости и механических свойств барита является основополагающим фактором для повышения эффективности и безопасности буровых работ. Внедрение современных методов контроля фильтрации и ремедиации, а также регулярный мониторинг параметров бурового раствора позволяют не только предотвращать осложнения, но и значительно сокращать время и затраты на их устранение. Это особенно важно при бурении в сложных геологических условиях, где стабильность ствола скважины и сохранение проницаемости продуктивных пластов критичны для успешной разработки месторождения.

Анализ распределения размеров частиц барита показывает, что преобладающий диапазон 20-40 микрон оптимален для использования в буровых растворах, поскольку снижает риск закупорки порового пространства и способствует более равномерному распределению утяжелителя. Выбор конкретного метода предотвращения и устранения загрязнения пластов должен основываться на глубине залегания, характеристиках породы, степени и природе загрязнения, а также экономической целесообразности применения того или иного реагента или технологии.

В случае загрязнения пластов баритом наиболее эффективными средствами являются хелатирующие агенты, способные комплексовать ионы бария и способствовать растворению отложений, а также специализированные растворители, обеспечивающие селективное разрушение барита в поровом пространстве. В то же время механическая очистка остаётся важным этапом, особенно на начальных стадиях загрязнения, способствуя удалению рыхлых отложений и подготовке пласта к химической обработке.

Комплексный подход, включающий адаптивную корректировку рецептуры бурового раствора на основе оперативного мониторинга его свойств и состояния пласта, позволяет существенно минимизировать негативное влияние барита и других компонентов на продуктивность скважины. Это обеспечивает не только улучшение условий бурения и эксплуатации, но и снижает риски технических простоев и дополнительных затрат на ремонт.

В перспективе дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку более эффективных, экологически безопасных и экономически оправданных

химических ком-позиций и технологий, способных обеспечить надежную защиту продуктивных пластов от загрязнения и повреждений. Особое внимание стоит уделять интеграции современных цифровых методов контроля и моделирования процессов фильтрации и ремедиации, что позволит повысить точность прогнозов и качество принимаемых решений.

Благодарности: Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP23487822).

ЛИТЕРАТУРА

1. Rheonics. DVP: Ультраточный датчик для одновременного измерения плотности и вязкости. Техническая документация Rheonics. 2021 [Rheonics. DVP: Ul'tratochnyy datchik dlya odnovermennogo izmereniya plotnosti i vyazkosti. Tekhnicheskaya dokumentatsiya Rheonics. 2021]
2. Жайлиев А.О., Сейдалиев А.А., Куттыбаев А.Е., Гусманова А.Г., Ратов Б.Т., & Табылганов М.Т. (2025). Подбор буровых растворов и регулирование их плотности. Журнал Нефть и Газ, 2025 1(145). С.115-128. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2025-1.06> [Zhayliyev A.O., Seydaliyev A.A., Kuttybayev A.Ye., Gusmanova A.G., Ratov B.T., Tabylganov M.T. (2025). Podbor burovyykh rastvorov i regulirovaniye ikh plotnosti. Zhurnal nef'ti i gaza, 2025 g. 1(145). S.115-128.]
3. Zhailiyev A. O., Khomenko V. L., Tabylganov M. T., Shukmanova A. A., & Pashchenko O. A. (2025). Assessment of reservoir filtration-capacity properties and saturation at the Morskoye field. 2025, (3): 029 - 040. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2025-3/029>
4. Жайлиев А.О., Муратова С.К., Омирзакова Э.Ж., Табылганов М.Т., Гусманова А.Г., Куттыбаев А.Е., & Ратова С.Б. (2025). Оптимизация процессов бурения и освоения скважин с использованием системы датчиков плотности и вязкости. Журнал Нефть и Газ, 2025 3(147). С.102-114. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2025-3.05> [Zhayliyev A.O., Muratova S.K., Omirzakova E.ZH., Tabylganov M.T., Gusmanova A.G., Kuttybayev A.Ye., & Ratova S.B. (2025). Optimizatsiya protsessov bureniya i osvoyeniya skvazhin s ispol'zovaniyem sistemy datchikov plotnosti i vyazkosti. Zhurnal Neft' i Gaz, 2025 3(147). S.102-114.]
5. Ратов Б.Т., Хоменко О.Е., Кононенко М.Н., Судаков А.К. Энергетическая теория горного давления. Горный журнал Казахстана № 9 (197) 2021г. С. 12-17. (ISSN 2227-4766) г. Алматы [Ratov B.T., Homenko O.E., Kononenko M.N., Sudakov A.K. Energeticheskaya teoriya gornogo davleniya. Gornyy zhurnal Kazahstana № 9 (197) 2021g. S: 12-17. (ISSN 2227-4766) g. Almaty]
6. Ратов Б.Т., Федоров Б.В., Руслякова-Куприянова И.А., Косьминов А.С. Конструктивные параметры лопастного долота для бурения скважин большого диаметра. Новости науки Казахстана Научно-технический журнал №1 (148) 2021г. С. 92 - 99. (ISSN 1560-5655) г. Алматы [Ratov B.T., Fedorov B.V., Ruslyakova-Kupriyanova I.A., Kos'minov A.S. Konstruktivnye parametry lopastnogo dolota dlya bureniya skvazhin bol'shogo diametra. Novosti nauki Kazahstana Nauchno-tekhnicheskij zhurnal №1 (148) 2021g. S. 92 - 99. (ISSN 1560-5655) g. Almaty]
7. Ратов Б.Т., Билецкий М.Т., Деликешева Д.Н. (2021). Анализ частиц шлама, выносимых буровым раствором. Новости науки Казахстана Научно-технический журнал №1 (148) 2021г. С. 80 - 91. (ISSN 1560-5655) г. Алматы [Ratov B.T., Bileckij M.T., Delikeshева D.N. (2021). Analiz chastic shlama, vynosimyyh burovym rastvorom. Novosti nauki Kazahstana Nauchno-tekhnicheskij zhurnal №1 (148) 2021g. S. 80 - 91. (ISSN 1560-5655) g. Almaty]

8. Судаков А.К., Ратов Б.Т., Дреус А.Ю., Судакова Д.А. Производственные исследования технологии оборудования гидрогеологической скважины криогенным блочным гравийным фильтром. Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения: «Инструментальное материаловедение». Сборник научных трудов. - Вып. 23. - Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины, г.Трускавец, 20-26 сентября 2020 г. С. 50-65. ISSN 2223-3938., DOI: 10.33839/2708-731X-23-1-50-65 [Sudakov A.K., Ratov B.T., Dreus A.Yu., Sudakova D.A. Proizvodstvennyye issledovaniya tekhnologii oborudovaniya gidrogeologicheskoy skvazhiny kriogen-nym blochnym gravijnym fil'trom. Porodorazrushayushchij i metalloobrabatyvayushchij instrument - tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniya i primeneniya: «Instrumental'noe materialovedenie». Sbornik nauchnyh trudov. - Vyp. 23. - Kiev: ISM im. V.N. Bakulya, NAN Ukrainy, g.Truskavec, 20-26 sentyabrya 2020 g. S. 50-65. ISSN 2223-3938., DOI: 10.33839/2708-731X-23-1-50-65]
9. Ратов Б.Т., Федоров Б.В., Хоменко В. Л., Коргасбеков Д.Р., Козбакарова С. М. Разработка нового пикообразного долота и его испытания в лабораторных и производственных условиях / Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения: «Инструментальное материаловедение». Сборник научных трудов. Вып. 23. Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины, г.Трускавец, 20-26 сентября 2020 г. С. 25-36. ISSN 2223-3938., DOI: 10.33839/2708-731X-23-1-25-36 [Ratov B.T., Fedorov B.V., Homenko V. L., Korgasbekov D.R., Kozbakarova S. M. Razrabotka novogo pikoobraznogo dolota i ego ispytaniya v laboratornyh i proizvodstvennyh usloviyah / Porodorazrushayushchij i metalloobrabatyvayushchij instru-ment — tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniya i primeneniya: «Instrumental'noe mate-rialsovedenie». Sbornik nauchnyh trudov. Vyp. 23. Kiev: ISM im. V.N. Bakulya, NAN Ukrainy, g.Truskavec, 20-26 sentyabrya 2020 g. S. 25-36. ISSN 2223-3938., DOI: 10.33839/2708-731X-23-1-25-36]
10. Fedorov B.V., Kudaikulova G.A., Ratov B.T., Baiboz A.R. Comprehensive Research on Development of the New Blade Bits Design. American Journal of Engineering and Technology Management. Vol. 5, No. 1, 2020, pp. 12-17. DOI: 10.11648/j.ajetm.20200501.12. Received: January 8, 2020; Accepted: January 31, 2020; Published: February 20, 2020
11. Ратов Б.Т., Федоров Б.В., Козбакарова С.М., Махитова З.Ш. Затраты мощности на разрушение забоя скважины пикообразными лопастными долотами традиционной конструкции. Горный журнал Казахстана № 6 (182) 2020г. С. 44-48. (ISSN 2227-4766) г. Алматы [Ratov B.T., Fedorov B.V., Kozbakarova S.M., Mahitova Z.Sh. Zatraty moshchnosti na razrushenie zaboya skvazhiny pikoobraznymi lopastnymi dolotami tradicionnoj konstrukcii. Gornyj zhurnal Kazakhstana № 6 (182) 2020g. S. 44-48. (ISSN 2227-4766) g. Almaty]
12. Sudakov A., Dreus A., Ratov B., Sudakova O., Khomenko O., Dziuba S., Sudakova D., Muratova S., Ayazbay M. Substantiation of thermomechanical technology parameters of absorbing levels isolation of the boreholes. News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. ISSN 2224-5278 Volume 2, Number 440 (2020), 63-71. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.32>
13. Ратов Б.Т., Кожевников А.А., Музаппарова А.Б., Науменко Н.А. Определение скважности фильтра буровых скважин с водоприемной поверхностью из проволоочной обмотки. Горный журнал Казахстана № 9 (173) 2019г. С. 11-14. (ISSN 2227-4766) г. Алматы [Ratov B.T., Kozhevnikov A.A., Muzapparova A.B., Naumenko N.A. Opredelenie skvazhnosti fil'tra burovyyh skvazhin s vodopriemnoj poverhnost'yu iz provolochnoj obmotki. Gornyj zhurnal Kazakhstana № 9 (173) 2019g. S. 11-14. (ISSN 2227-4766) g. Almaty]
14. Ratov B.T., Fedorov B.V., Kuttybaev A.E., Sarbopeeveva M.D., Borash B.R. Drilling tools with compound cutting structure for hydrological and geotechnical drilling. MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2022; (9):42-59. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_9_0_4

15. Казангапов А.Е., Куттыбаев А.Е., Саменов Г.К., Петрунько А.Н. Зависимость производительности экскаватора от кусковатости взорванной породы на Житикаринском карьере. Вестник КазНТУ, 2006, №2, стр.153-156 [Kazangapov A.E., Kuttybaev A.E., Samenov G.K., Petrun'ko A.N. Zavisi-most' proizvoditel'nosti ekskavatora ot kuskovatosti vzorvannoj porody na Zhitika-rinskom kar'ere. Vestnik KazNTU, 2006, №2, S.153-156]
16. Hryhoriev, Y., Lutsenko, S., Kuttybayev, A., Ermekkali, A., Shamrai, V. Study of the impact of the open pit productivity on the economic indicators of mining development (2023) IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1254 (1), № 012050. DOI: 10.1088/1755-1315/1254/1/012050
17. Ratov B., Kosminov A., Kuttybayev A., Tabylganov M., Seksenbay M. Public-private partnership between Satbayev university and SK Geoservice LLP: Enhancing collaboration in technological innovation and production. E3S Web of Conferences 525, 01007 (2024). GEOTECH-2024. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452501007>
18. Hryhoriev Y., Lutsenko S., Systierov O., Kuttybayev A., Kuttybayeva A. Implementation of sustainable development approaches by creating the mining cluster: The case of MPP "inguletskiy" (2023) IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1254 (1), № 012055. DOI: 10.1088/1755-1315/1254/1/012055