



СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА СОЗДАНИЯ
ОРГАНОБЕНТОНИТОВ И СУСПЕНЗИИ НА ИХ ОСНОВЕ ДЛЯ БУРОВОЙ
ТЕХНИКИ

<https://doi.org/10.70728/qdpi.v08.i01.022>

*Зулфира Машарипова Рахимбаевна ,
Азиза Абдикамалова Бахтияровна,
Баходиржон Мамажонов*

*ЎзРФА, Институт общей и неорганической химии,
Тошкент, Ўзбекистан*

Кокандский государственный университет, Коканд, Ўзбекистан

E-mail: zulfiramasharipova01@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada burg‘ulash uskunalari uchun organobentonitlar va organobentonit asosidagi suspenziyalarni ishlab chiqishga qaratilgan tadqiqotlarning hozirgi holatining analitik sharhi keltirilgan. Maqolada loy minerallarining, xususan, montmorillonitning strukturaviy xususiyatlari, shuningdek, uni kimyoviy va organik modifikatsiyalashning asosiy usullari o‘rganiladi. Belgilangan kolloid-kimyoviy xususiyatlarga ega materiallarni olish uchun organik modifikatorlarni sintez qilish va ularning bentonit bilan o‘zaro ta‘sir qilish usullariga alohida e‘tibor qaratilgan. Turli usullar (quruq, ho‘l, yarim quruq va gel) yordamida organofil bentonitlarni ishlab chiqarishning zamonaviy yondashuvlari umumlashtirilgan va ularning strukturaviy, reologik va sorbsion xususiyatlari muhokama qilingan.

Organobentonitlar, ayniqsa, yuqori sho‘rlanish va yuqori harorat sharoitida burg‘ulash suspenziyalari uchun samarali struktura hosil qiluvchi va barqarorlashtiruvchi qo‘shimchalar ekanligi ko‘rsatilgan. Ularni polimer va emulsiya burg‘ulash suyuqliklarida qo‘llash istiqbollari muhokama qilinadi, ularda ular reologik xususiyatlarni yaxshilaydi, emulsiya barqarorligini oshiradi, filtrlashni kamaytiradi va hosil bo‘lishdan himoya qiladi. Maqolada burg‘ulash suyuqliklarining operatsion ishonchliligini oshirish va ularning atrof-muhitga ta‘sirini kamaytirishga qaratilgan organobentonitlarni sintez qilish uchun ekologik toza va tejamkor texnologiyalarni ishlab chiqishdagi zamonaviy tendentsiyalar keltirilgan.

Kalit so‘zlar: organobentonit, montmorillonit, modifikatsiya, sirt faol moddalar, burg‘ulash suyuqliklari, emulsiya suspenziyalari, polimer tizimlari, reologik xususiyatlar.

Аннотация. В работе представлен аналитический обзор современного состояния исследований, направленных на разработку органобентонитов и суспензий на их основе для буровой техники. Рассмотрены структурные особенности глинистых минералов, в частности монтмориллонита, а также основные способы его химической и органической модификации. Особое внимание уделено синтезу органических модификаторов и методам их взаимодействия с бентонитом для получения материалов с заданными коллоидно-химическими свойствами. Обобщены современные подходы к получению органофильных бентонитов различными методами (сухим, мокрым, полусухим и гелевым), рассмотрены их структурно-реологические и сорбционные характеристики.

Показано, что органобентониты являются эффективными структурообразующими и стабилизирующими добавками для буровых суспензий, особенно в условиях повышенной минерализации и высоких температур. Рассмотрены перспективы их применения в составе полимерных и эмульсионных буровых растворов, где они улучшают реологические свойства, повышают устойчивость эмульсий, снижают фильтрацию и обеспечивают защиту продуктивных пластов. Приведены современные тенденции в разработке экологически безопасных и экономически эффективных технологий синтеза органобентонитов, ориентированных на повышение эксплуатационной надёжности буровых растворов и снижение их воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: органобентонит, монтмориллонит, модификация, поверхностно-активные вещества, буровые растворы, эмульсионные суспензии, полимерные системы, реологические свойства.

Abstract. This paper presents an analytical review of the current state of research aimed at developing organobentonites and organobentonite-based suspensions for drilling equipment. The paper examines the structural features of clay minerals, particularly montmorillonite, as well as the main methods for its chemical and organic modification. Particular attention is paid to the synthesis of organic modifiers and methods for their interaction with bentonite to obtain materials with specified colloidal-chemical properties. Modern approaches to producing organophilic bentonites by various methods (dry, wet, semi-dry, and gel) are summarized, and their structural, rheological, and sorption characteristics are discussed.

It is demonstrated that organobentonites are effective structure-forming and stabilizing additives for drilling suspensions, especially under conditions of increased salinity and high temperatures. The prospects for their use in polymer and emulsion drilling fluids are discussed, where they improve rheological properties, increase emulsion stability, reduce filtration, and ensure formation protection. The article presents current trends in the development of environmentally friendly and cost-effective technologies for the synthesis

of organobentonites, aimed at increasing the operational reliability of drilling fluids and reducing their impact on the environment.

Key words: organobentonite, montmorillonite, modification, surfactants, drilling fluids, emulsion suspensions, polymer systems, rheological properties.

ВВЕДЕНИЕ. В начале XXI века интенсивное развитие нефтегазовой отрасли потребовало внедрения новых технологических подходов, направленных на повышение эффективности и безопасности буровых процессов. Одним из ключевых направлений инноваций стало совершенствование состава и свойств буровых растворов, от которых напрямую зависит устойчивость ствола скважины, эффективность очистки забоя и сохранность продуктивного пласта. В этой связи особое внимание уделяется созданию новых типов дисперсионных систем на основе глинистых минералов, способных сохранять стабильность при воздействии высоких температур, давлений и агрессивных ионных сред.

Органобентониты, получаемые модификацией природных бентонитов органическими катионами, представляют собой перспективный класс материалов, сочетающих пластичность и тиксотропные свойства традиционных глин с гидрофобными и структурно-реологическими особенностями органических соединений. Такие композиты проявляют повышенную устойчивость к солевому и термическому воздействию, обладают улучшенными фильтрационными характеристиками и оптимальной структурообразующей способностью. Применение органобентонитов в буровых растворах позволяет эффективно регулировать вязкость и структурную прочность, обеспечивая стабильную работу системы даже при сложных геолого-технических условиях.

Современные исследования направлены не только на создание органобентонитов с заданными коллоидно-химическими параметрами, но и на разработку комплексных полимерных и эмульсионных буровых растворов нового поколения. Такие системы отличаются высокой технологической эффективностью, возможностью адаптации к различным условиям бурения и сниженным экологическим воздействием. Их использование способствует сокращению расхода реагентов, уменьшению загрязнения окружающей среды и повышению общей надёжности бурового процесса.

Таким образом, изучение современного состояния вопроса создания органобентонитов и буровых растворов на их основе представляет актуальную научно-практическую задачу, имеющую важное значение для дальнейшего развития технологий бурения и рационального использования минеральных ресурсов.

СТРОЕНИЕ И СТРУКТУРА ГЛИН. СПОСОБЫ МОДИФИКАЦИИ МОНТМОРИЛЛОНИТА

Глинистые минералы представляют собой природные алюмосиликатные образования со слоистой структурой, в которой чередуются тетраэдрические и октаэдрические слои. Основу большинства дисперсных глин составляет монтмориллонит — представитель группы смектитов, обладающий типом структуры 2:1, где два слоя кремнекислородных тетраэдров разделены одним октаэдрическим слоем алюминия или магния. Межслоевые пространства монтмориллонита заполнены катионами натрия, кальция, магния и молекулами воды, которые удерживаются преимущественно электростатическими силами [1].

Особенностью монтмориллонита является его высокая катионообменная способность, способность к набуханию и изменению межпакетного расстояния при гидратации. Эти свойства обусловлены изоморфными замещениями в кристаллической решетке, когда, например, часть ионов Si^{4+} замещается Al^{3+} в тетраэдрическом слое или Mg^{2+} заменяет Al^{3+} в октаэдрическом. В результате формируется избыточный отрицательный заряд, уравниваемый обменными катионами в межслоевых пространствах. Такая структура обеспечивает монтмориллониту высокую реакционную способность и делает его удобной матрицей для химической модификации.

Модификация монтмориллонита может быть неорганической и органической. Неорганическая модификация направлена на перевод глины в натриевую форму, что улучшает её диспергируемость и способность к набуханию. Этот процесс достигается обработкой растворами Na_2CO_3 или NaCl с последующим обменом кальция и магния на натрий.

Органическая модификация представляет собой замещение неорганических катионов межслоевого комплекса на органические катионы, чаще всего четвертичные аммониевые соли или поверхностно-активные вещества (ПАВ). В результате такого обмена изменяется природа межслоевых взаимодействий, поверхность становится более гидрофобной, а глина приобретает способность взаимодействовать с неполярными и слабо полярными веществами.

Кроме катионного обмена, модификация может проводиться адсорбционным способом с использованием полимеров, органосилановых соединений, а также через межслоевую поликонденсацию. Полимерная модификация позволяет получить гибридные органо-неорганические системы, в которых макромолекулы закреплены в межслоевых промежутках или на внешней поверхности частиц. Такие материалы отличаются повышенной термостабильностью, устойчивостью к электролитам и регулируемыми коллоидно-химическими свойствами.

Таким образом, строение монтмориллонита предопределяет его способность к ионному обмену и модификации, а выбор типа модификатора позволяет целенаправленно изменять гидратационные, адсорбционные и реологические

характеристики глины, что делает её универсальной основой для создания современных органобентонитов и композиционных систем на их основе.

Согласно данным [2-4], кристаллическая решётка глинистых минералов нередко испытывает искажения, обусловленные несоответствием размеров структурных слоёв. Межслоевые пространства могут быть как нейтральными, так и заряженными; при наличии заряда их компенсируют ионы K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , обеспечивающие электрическую нейтральность и стабильность структуры.

Монтмориллонит относится к трёхслойным алюмосиликатам типа 2:1, включающим два тетраэдрических слоя кремнезёма и один октаэдрический слой алюминия, соединённые атомами кислорода [5-6]. Размер межслоевого пространства зависит от типа катиона: для натриевой формы он составляет около 12,5 Å, для кальциевой – до 15,5 Å. Расширение структуры при гидратации обратимо, что связано с наличием в ней диоксида кремния, оксида алюминия и воды [7-9].

Монтмориллонит характеризуется тонкопластинчатым строением и способностью к ионному замещению, что определяет его реакционную активность и текстурные свойства [10-11]. Рентгеноструктурные исследования выявляют локальные области упорядочения [12], а кристаллохимические особенности и поровая структура определяют основные физико-химические свойства минерала [13-14]. В гидратированном состоянии монтмориллонит способен к набуханию за счёт поглощения воды в межслоевые пространства.

Для повышения сорбционной способности бентонитовых глин применяют химическую модификацию с использованием минеральных кислот, разрушающих частично структуру минерала и увеличивающих его удельную поверхность [15]. Современные синтетические алюмосиликаты, обладающие высокой сорбционной ёмкостью и термостойкостью, используются как эффективные носители для адсорбции различных элементов [16-18].

Кислотная модификация природных глин (соляной, серной кислотами) является наиболее распространённым методом активации, при котором изменяются пористость и удельная поверхность, повышая сорбционные свойства материала [19-20]. Однако чрезмерное воздействие кислот может привести к частичному разрушению кристаллической решётки и снижению химической стабильности [21].

Для увеличения устойчивости активированных глин применяется комбинированная обработка, сочетающая кислотную активацию с катионным замещением ионами Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Ba^{2+} [22-23]. Дополнительное модифицирование органическими веществами (органосилоксанами, олигомерами и полимерами) позволяет сформировать на поверхности гидрофобные слои, повышающие термическую и механическую устойчивость [24]. Такие материалы

эффективно применяются для очистки сточных вод от органических и неорганических загрязнителей [25-26].

Сравнительные исследования различных методов активации (термической, кислотной, солевой, содовой) показывают, что характер воздействия реагентов существенно влияет на структуру, пористость и сорбционные свойства бентонитов [27]. Применение карбоната натрия способствует улучшению коллоидных характеристик и регулирует адсорбционную активность за счёт изменения состава обменных катионов [28].

Ионный обмен с органическими электролитами является эффективным методом модификации бентонитов, превращающим их в органофильные формы с повышенной структурной и сорбционной активностью [29]. Такие материалы обладают улучшенными адсорбционными свойствами и применяются в системах, требующих высокой селективности и устойчивости.

Введение катионов обмена, гидроксильных групп и молекул воды в структуру слоистых алюмосиликатов изменяет поверхность минералов и усиливает их функциональные характеристики [30-31]. Обработка монтмориллонита кислотами и последующее введение катионов Na^+ повышают его способность к адсорбции ионов тяжёлых металлов [32], а использование Li^+ дополнительно увеличивает эффективность очистки водных растворов [33].

Химическая обработка глин органическими соединениями позволяет внедрять в структуру гидрофобные группы, что придаёт материалам термическую и механическую устойчивость. Такие органофильные бентониты успешно применяются при очистке сточных вод от красителей, ионов металлов и микробных загрязнителей [34-35].

Таким образом, модификация бентонитов посредством органического ионного обмена представляет собой перспективное направление, обеспечивающее получение материалов с регулируемыми коллоидно-химическими свойствами для использования в буровых и экологических технологиях.

СИНТЕЗ ОРГАНИЧЕСКИХ МОДИФИКАТОРОВ ГЛИН И ОРГАНОБЕНТОНИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЦЕЛЕЙ

В современной научной и промышленной практике активно разрабатываются модифицированные глины, в частности органобентониты, получаемые введением органических соединений в структуру природных бентонитов. Такие материалы обладают повышенной термостабильностью, гидрофобностью и сорбционной способностью, что делает их перспективными для использования в буровых растворах, очистке сточных вод и создании композитных систем [36].

Синтез органических модификаторов и получение на их основе органобентонитов является ключевым направлением исследований, направленных на

разработку функциональных материалов с регулируемыми свойствами. Модификация глин органическими катионами позволяет не только повысить существующие характеристики бентонита, но и придать ему новые функции, включая устойчивость к электролитам и высокую селективность к органическим веществам.

Свойства органобентонитов зависят от природы модификатора и способа его введения. Основные характеристики включают степень гидрофобности, адсорбционную активность, межслоевые расстояния и термическую устойчивость. Для их анализа применяют рентгенодифракцию и ИК-спектроскопию [37-38].

Органические модификаторы, используемые для синтеза, варьируются от низкомолекулярных соединений до полимерных структур. Наиболее распространены катионные аммонийные соли и анионные поверхностно-активные вещества, регулирующие соотношение гидрофильных и гидрофобных участков поверхности. Модификаторы с низкой молекулярной массой обладают высокой растворимостью и способствуют образованию гидрофобных органобентонитов, эффективных при извлечении органических загрязнителей из водных сред.

Высокомолекулярные модификаторы, включая полимеры и крупные органические молекулы, благодаря множественным активным группам формируют в глинистой матрице полимерные сетки и покрытия, придавая материалам прочность, эластичность и термостабильность. Их использование улучшает механические, тепловые и адсорбционные свойства глин, создавая основу для разработки новых функциональных материалов [39].

Модификация глин как низко-, так и высокомолекулярными органическими соединениями осуществляется методами механохимической активации, гидратации, введения модификатора в раствор или нанесения на поверхность, нередко с последующей термообработкой [40]. Такие подходы обеспечивают получение материалов с расширенными функциональными свойствами, применимых в экологических, строительных, фармацевтических и других отраслях [41].

Исследования показывают, что природный бентонит обладает ограниченной способностью к адсорбции органических соединений из-за своей гидрофильной природы [42-43]. Придание поверхности гидрофобных свойств достигается обработкой поверхностно-активными веществами [44], что делает возможным эффективное связывание органических молекул.

Органо-глинистые комплексы рассматриваются как эффективные сорбенты для очистки сточных вод [45] и материалы для создания герметизирующих покрытий и барьерных слоёв, предотвращающих загрязнение грунтовых вод [46-47]. Их эффективность напрямую зависит от адсорбционной способности к органическим веществам.

Метод компании «Консит-А» [48] отличается рациональным расходом воды и сокращением времени синтеза до 45 мин. В нём четвертичная аммониевая соль вводится в порошкообразный бентонит с последующей сушкой. Компьютерное моделирование подтвердило возможность использования полученных органофильных монтмориллонитов для инкапсуляции полимеров и активных веществ [49].

Перспективным направлением остаётся создание органофильных силикатов высокой термостабильности и структурообразующей способности. Такие материалы служат наполнителями для полимеров, эмульгаторами в буровых растворах и компонентами строительных и лакокрасочных систем [50].

Дальнейшее развитие технологий интеркаляции ПАВ в структуру алюмосиликатов направлено на повышение совместимости органических и неорганических фаз, что обеспечивает формирование термостойких и механически прочных композитов. Рентгеноструктурный анализ позволяет выявлять изменения межслоевых расстояний и оценивать эффективность внедрения ПАВ.

Развитие методов интеркаляции способствует созданию новых экологически ориентированных материалов — сорбентов, геомембран и защитных барьеров, применяемых для предотвращения загрязнения водных систем. Недавние усовершенствования [51] касаются улучшения равномерности взаимодействия бентонита с четвертичными аммониевыми солями за счёт пониженного давления в смесителе и постепенного добавления реагента. Введение изопропилового спирта и воды позволяет дополнительно повысить однородность и предотвратить комкование.

ПОЛИМЕРНЫЕ И ЭМУЛЬСИОННЫЕ БУРОВЫЕ РАСТВОРЫ

Буровые растворы на углеводородной основе (РУО) включают дизельное топливо, нефть, битум и поверхностно-активные вещества (ПАВ), а также добавки — глину, включая органобентонит, барит и эмульгированную воду, обеспечивающие требуемую вязкость и плотность [52]. Эмульсионные системы доказали эффективность в сложных геологических условиях, демонстрируя устойчивость к высоким температурам и агрессивным пластовым флюидам [53-55].

Водные буровые растворы, напротив, могут вызывать набухание глин и растворение соленосных пород, поэтому ещё с 1920-х годов применяются безводные дисперсные системы на основе нефти и битума. Дж. Грей и Г. Дарли отмечали, что углеводородные растворы снижают фильтрацию, устойчивы к сероводороду и температурным колебаниям, сохраняя проницаемость продуктивных пластов.

Эффективность эмульсионных растворов определяется балансом процессов диспергирования и коалесценции, зависящих от свойств эмульгатора и соотношения фаз. Контроль времени эмульгирования необходим для сохранения стабильности и требуемых реологических параметров. Инвертно-эмульсионные растворы (ИЭР),

впервые использованные в 1953 г., показали высокую эффективность при бурении песчаников и вскрытии продуктивных пластов [56].

Современные системы, такие как VERSACLEAN, MEGADRIL (M-I SWACO) и ENVIROMUL, INVERMUL (BAROID), обеспечивают устойчивость при бурении горизонтальных и морских скважин. Они основаны на минеральных или дизельных маслах, используют CaCl_2 -воду как внутреннюю фазу и эмульгаторы MEGAMUL, VERSACOAT, повышающие агрегативную стабильность и ингибирующие свойства [57].

Полимерные буровые жидкости появились в 1950-х годах [58] и представляют собой водные растворы линейных или сетчатых полимеров, обеспечивающих псевдопластичное течение и высокую гидрофильность. Полимерсолевые растворы (NaCl , полимеры, неионные ПАВ) применяются для вскрытия пластов с сохранением фильтрационно-ёмкостных свойств, при фильтрации 3–5 см³/30 мин и температуре до 150 °С [59]. Использование полимеров позволило повысить устойчивость к температуре и регулировать вязкость, что особенно важно при бурении твёрдых пород и в условиях высоких давлений [60]. Однако синтетические полимеры требуют экологически ответственной утилизации из-за их стойкости в среде [61].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённый обзор показал, что органобентониты являются перспективными материалами для создания эффективных суспензий и буровых растворов нового поколения. Модификация монтмориллонита органическими катионами и полимерами значительно улучшает его реологические, сорбционные и термостойкие свойства, обеспечивая стабильность в агрессивных и высокоминерализованных средах.

Современные методы синтеза — сухой, мокрый, полусухой и гелевый — позволяют целенаправленно управлять свойствами органобентонитов и снижать энергозатраты процесса. Их применение в составе полимерных и эмульсионных буровых растворов повышает устойчивость систем, снижает фильтрацию и способствует защите продуктивных пластов.

Таким образом, развитие технологий получения и использования органобентонитов открывает возможности для создания более эффективных, экологичных и стабильных буровых композиций, отвечающих требованиям современной нефтегазовой отрасли.