

УДК 622.24.063.2  
Статья / Article  
© ПНИПУ / PNRPU, 2024**Экологические биоразлагаемые добавки для улучшения реологических и фильтрационных характеристик бурового раствора на водной основе****Е.Л. Леушева, А.О. Морозов, Д.О. Морозов**Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II  
(Российская Федерация, 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия Васильевского острова, 2-4/45)**Ecological Biodegradable Additives for Improving Rheological and Filtration Characteristics of Water-Based Drilling Mud****Ekaterina L. Leusheva, Aleksandr O. Morozov, Dmitriy O. Morozov**

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University (2-4/45 21st line, Vasilyevsky island, Saint Petersburg, 199106, Russian Federation)

Получена / Received: 05.03.2024. Принята / Accepted: 26.07.2024. Опубликовано / Published: 30.08.2024

**Ключевые слова:**

буровые растворы, промывочные растворы, растворы на водной основе, реологические характеристики, фильтрация, вязкость, водородный показатель, плотность, флокуляция, водоотдача, температурные условия, седиментационная устойчивость, дисперсность, толщина глинистой корки, биоразлагаемые добавки, пищевые отходы, агропромышленные отходы.

Растворы, применяемые при бурении скважин, должны обладать рядом свойств, обеспечивающих их функциональность. Наряду с очисткой забоя, выносом бурового шлама, очисткой и охлаждением бурового долота, они должны обеспечивать поддержание гидродинамических давлений в скважине – для предотвращения проявления пластовых флюидов в ствол скважины и поглощений бурового раствора, а также регулировать образование тонкой фильтрационной корки, перекрывающей поры в разбухаемых породах, что предотвращает их осыпание. В практике бурения применяют буровые растворы на водной, углеводородной и аэрированной основе. С точки зрения экологической безопасности растворы на водной основе являются предпочтительными. Но для обеспечения необходимых свойств буровых растворов на водной основе применяют ряд специальных химических добавок, которые, являясь токсичными продуктами длительного действия, оказывают негативное влияние на окружающую среду. В настоящее время стоит задача разработки новых буровых растворов, не только обеспечивающих процесс бурения в любых, в том числе затрудненных, условиях, но и не наносщих вред окружающей среде. При этом должна учитываться и экономическая составляющая вопроса. С целью получения новых экологически чистых буровых растворов, а также решения проблемы накопления пищевых отходов предлагается применять биоразлагаемые добавки, полученные из растений или агропромышленных отходов. В обзорной статье представлены исследования влияния биодобавок на реологические и фильтрационные характеристики буровых растворов на водной основе. Показано влияние растительных добавок на вязкость, плотность, предел текучести, фильтрацию, буровых растворов, а также на образование и толщину глинистой корки. Кроме того, показана возможность использования агропромышленных отходов, таких как апельсиновая и мандариновая корка, семена подсолнечника, шелуха риса и арахиса, яичная скорлупа, в качестве альтернативы полимерам, используемым в настоящее время для снижения и предотвращения поглощения буровых растворов. Рассмотрена возможность использования биоразлагаемых добавок в качестве потенциальных экологически чистых и недорогих добавок в буровые растворы.

**Keywords:**

drilling fluids, drilling muds, water-based solutions, rheological characteristics, filtration, viscosity, hydrogen index, density, flocculation, water loss, temperature conditions, sedimentation stability, dispersion, clay cake thickness, biodegradable additives, food waste, agro-industrial waste.

Solutions used in well drilling must have a number of properties that ensure their functionality. Along with cleaning the bottomhole, removing drilling mud, cleaning and cooling the drill bit, they must maintain hydrodynamic pressures in the well to prevent formation fluids from entering the wellbore and absorption of the drilling mud, as well as regulate the formation of a thin filter cake that covers the pores in the rocks being drilled, which prevents them from crumbling. In drilling practice, drilling muds on water, hydrocarbon and aerated basis are used. From the point of view of environmental safety, water-based solutions are preferable. But to ensure the necessary properties of water-based drilling muds, a number of special chemical additives are used, which, being toxic products of long action, have a negative impact on the environment. Currently, the task is to develop new drilling muds that not only ensure the drilling process in any, including difficult conditions, but also do not harm the environment. The economic component of the issue should also be taken into account. In order to obtain new environmentally friendly drilling fluids, as well as to solve the problem of accumulation of food waste, it is proposed to use biodegradable additives obtained from plants or agro-industrial waste. The article presents studies of the effect of bioadditives on the rheological and filtration characteristics of water-based drilling fluids. The effect of plant additives on the viscosity, density, yield point, filtration of drilling fluids, as well as on the formation and thickness of the clay cake is shown. In addition, the possibility of using agro-industrial waste, such as orange and tangerine peel, sunflower seeds, rice and peanut husks, eggshells, as an alternative to polymers currently used to reduce and prevent absorption of drilling fluids is shown. The possibility of using biodegradable additives as potential environmentally friendly and inexpensive additives to drilling fluids is considered.

© **Леушева Екатерина Леонидовна** – доцент, кандидат технических наук (тел.: +007 (812) 328 82 84, e-mail: Leusheva\_EL@pers.spmi.ru). Контактное лицо для переписки.© **Морозов Александр Олегович** – студент (тел.: +007 (920) 117 82 87, e-mail: alexandr.05\_07@mail.ru).© **Морозов Дмитрий Олегович** – студент (тел.: +007 (996) 238 92 85, e-mail: dmitrij\_morozov\_01@mail.ru).© **Ekaterina L. Leusheva** (Author ID in Scopus: 56609312400; ORCID: 0000-0002-0510-7769) – PhD in Engineering, Associate Professor at the Well Drilling Department (tel.: +007 (812) 328 82 84, e-mail: Leusheva\_EL@pers.spmi.ru). The contact person for correspondence.© **Aleksandr O. Morozov** – Student (tel.: +007 (920) 11782 87, e-mail: alexandr.05\_07@mail.ru).© **Dmitriy O. Morozov** – Student (tel.: +007 (996) 238 92 85, e-mail: dmitrij\_morozov\_01@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Леушева, Е.Л. Экологические биоразлагаемые добавки для улучшения реологических и фильтрационных характеристик бурового раствора на водной основе / Е.Л. Леушева, А.О. Морозов, Д.О. Морозов // Недропользование. – 2024. – Т.24, №3. – С.120–130. DOI: 10.15593/2712-8008/2024.3.3

Please cite this article in English as:

Leusheva E.L., Morozov A.O., Morozov D.O. Ecological biodegradable additives for improving rheological and filtration characteristics of water-based drilling mud. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2024, vol.24, no.3, pp.120-130. DOI: 10.15593/2712-8008/2024.3.3

## Введение

Для обеспечения необходимых свойств буровых растворов применяют специальные химические добавки. Однако такие добавки оказывают негативное влияние на окружающую среду, кроме того, они являются токсичными продуктами длительного действия. При утилизации буровых растворов после буровых работ они вместе со шламом и добавками сбрасываются в водоемы и вызывают их загрязнение. Особенно это опасно в районах Крайнего Севера, поскольку здесь естественная экологическая обстановка наиболее подвержена нарушению в связи с торможением процессов окисления и испарения, замедлением восстановления природной среды. Задачей российских исследователей является разработка новых буровых растворов, не только обеспечивающих процесс бурения в любых, в том числе затрудненных, условиях, но и не загрязняющих окружающую среду. При этом, несомненно, должна учитываться и экономическая составляющая вопроса.

С этой целью в настоящее время предлагается вместо химических добавок применять биоразлагаемые добавки, полученные, например, из агропромышленных отходов, при переработке растений или из отходов древесины. В работе рассмотрены исследования, проводимые в этой области.

## Буровые растворы. Реологические характеристики

Растворы, применяемые при бурении скважин, должны обладать рядом свойств, обеспечивающих их функциональность. Наряду с очисткой забоя, выносом бурового шлама, очисткой и охлаждением бурового долота, буровые растворы должны обеспечивать поддержание гидродинамических давлений в скважине – для предотвращения попадания пластовых флюидов в ствол скважины и поглощений бурового раствора, а также регулировать образование тонкой фильтрационной корки, перекрывающей поры в разбуриваемых породах, что предотвращает их осыпание [1]. В практике бурения применяют буровые растворы на водной, углеводородной и азрированной основе. С точки зрения экологической безопасности растворы на водной основе являются предпочтительными. Но для обеспечения необходимых свойств они также включают в себя добавки, которые могут оказывать токсичное действие на окружающую среду. Для получения необходимых реологических свойств водных растворов и обеспечения их экологичности в качестве добавок в настоящее время предлагается использовать экологически безопасные биоразлагаемые добавки.

Реологические характеристики бурового раствора показывают, как он будет работать при разных температурах, давлении, скорости сдвига. Вязкость в целом характеризует способность раствора сопротивляться течению. Необходимо учитывать не только собственно вязкостные свойства растворов, но и их пластические и вискозотропные свойства.

Пластическая вязкость представляет собой удельное сопротивление потоку, вызванное трением между твердыми частицами в буровых растворах и слоями жидкости. Она зависит от вязкости базовых жидкостей, т.е. воды и масла, концентрации и размера твердых частиц. Значительное повышение пластической вязкости в буровых растворах способно привести к замедлению движения раствора, снижению скорости бурения. Снижения пластической вязкости достигают с помощью разбавляющих добавок [2]. Буровые растворы с высокой вязкостью предпочтительны в условиях бурения глубоких

скважин, скважин с высоким давлением и высокой температурой, когда вязкость будет снижаться.

Плотность представляет собой вес бурового раствора в единице объема. Плотность улучшает стабильность ствола скважины и поддерживает пластовое давление. Низкая плотность бурового раствора может привести к прорыву и разрушению ствола скважины. Чрезмерно высокая плотность бурового раствора может привести к потере циркуляции, снижению скорости проходки и повреждению пласта [2].

Фильтрация показывает количество бурового раствора, проникающего в пласты скважины в результате гидростатического давления жидкости, превышающего поровое давление. При этом, так как поры заполняются взвешенными твердыми частицами из бурового раствора, образуется глинистая корка. Скорость фильтрации и толщина глинистой корки снижаются по мере увеличения концентрации твердых частиц в растворе.

Динамическое напряжение сдвига характеризует способность раствора переносить буровой шлам во взвешенном состоянии при циркуляции в стволе скважины и вне затрубного пространства. Предел текучести увеличивается с уменьшением размеров твердых частиц добавки. Это связано с увеличением сил притяжения между твердыми частицами, которые повышают несущую способность бурового шлама и очищают ствол скважины [2, 3].

Прочность геля (статическое напряжение сдвига) характеризует способность удерживать буровой шлам во взвешенном состоянии в статических условиях. Чем больше прочность геля увеличивается с течением времени, тем большее требуется давление, чтобы преодолеть накопленную прочность геля и инициировать циркуляцию.

## Применение биоразлагаемых добавок, полученных из растений, для улучшения характеристик буровых растворов на водной основе

В качестве добавок, улучшающих реологию растворов, предложено использовать производные лигнина, получаемого при переработке древесины. Российская Федерация занимает первое место в мире по лесным ресурсам. При заготовке и переработке древесины ежегодно образуются десятки миллионов тонн отходов – коры, опилок, технических лигнинов. Примерно половина таких отходов сжигается, другая часть вывозится в отвалы, которые загрязняют почвы и нередко становятся причиной пожаров. На сегодняшний день практически отсутствуют высокотехнологичные методы утилизации крупнотоннажных отходов деревоперерабатывающих предприятий, в том числе лигнинов. Использование производных лигнинов в качестве добавок буровых растворов решит проблему утилизации «трудных» отходов и позволит получить экологичные и функциональные растворы.

В настоящее время используются добавки лигносульфонатов, модифицированных солями хрома. Но так как эти соли обладают высокой токсичностью, ученые работают над их заменой на бесхромистые соединения. А.В. Минаков, Е.И. Михиенкова, А.Д. Скоробогатова и др. предлагают использовать в качестве эффективной добавки гидролизный лигнин – отходы биохимических заводов, производящих этанол из древесного сырья [4]. Это сложная смесь продуктов гидролитического распада древесины, которая состоит из измененного лигнина растительной клетчатки, полисахаридов, минеральных и органических кислот, зольных элементов и ряда других веществ. Доказано, что

добавки модифицированного лигнина в буровые растворы на глинистой основе способствуют контролю флокуляции глины, снижают вязкость раствора. Максимальное влияние на текучесть буровых растворов оказывают образцы окисленного гидролизного лигнина  $\text{NO}_3$  и  $\text{NO}_4$ . Опыты показали, что при их концентрации 2 % по массе вязкость раствора снижается более чем в 5 раз при низких скоростях сдвига. При концентрации добавок выше 2 % по массе наблюдается полное разжижение буровых растворов. Кроме того, добавки модифицированного гидролизного лигнина позволяют уменьшить фильтрационные потери, снизить коэффициент трения, ингибировать процессы набухания и повысить устойчивость глинистых буровых растворов.

Бурение глубоких скважин производят при повышенных температурах, что может привести к флокуляции частиц глины в буровом растворе и ухудшению свойств буровых добавок, это может изменить свойства бурового раствора. Поэтому используют добавки для контроля флокуляции глины (дефлокулянты). При этом снижается вязкость, предел текучести и прочность геля. М.К. Fokuo, W.N. Aggrey, M.A.D. Rockson и др. в своей статье показали возможность применения в качестве экологически чистых дефлокулянтов добавок на основе танинов [5]. Танины способны выдерживать высокие температуры, что является важным свойством для добавок в буровые растворы для бурения глубоких скважин. Танины содержатся в коре, древесине, листьях, плодах многих деревьев – как экзотических, так и нашей полосы – дуба, сосны, каштана. Также танины можно получить из отходов сельскохозяйственной и пищевой промышленности. Так, изучение влияния водно-спиртового экстракта черного миробалана (распространен в Южной и Юго-Восточной Азии) на реологические свойства раствора показало, что он имеет свойства дефлокулянта (при низкой концентрации – до 0,6 % по массе), снижая прочность геля, вязкость и предел текучести раствора, но при этом увеличивая объем фильтрата, что является нежелательным [5]. Также показано, что добавки на основе танинов, извлеченных из семян дуба, способны ограничивать склонность раствора к флокуляции и загустению, в том числе при высоких температурах (до 149 °С). Наблюдалось снижение предела текучести, прочности геля и потери жидкости [5].

Кроме того, A.R. Ismail, M.N.A. Mohd Norddin, N.A.S. Latefi проводили исследования влияния при высоких температурах добавок на основе экстракта танина, полученного из отходов коры красного мангрового дерева (произрастает в тропическом и субтропическом поясе Западной Африки, Северной и Южной Америки). Было показано, что данная добавка эффективна при высоких температурах [6].

P. Talukdar, S. Kalita, A. Pandey изучали влияние на реологические свойства водного бурового раствора танната кальция, полученного из отходов чайного листа [7]. Ими выявлено, что с увеличением концентрации танната кальция происходит постепенное снижение пластической вязкости и прочности геля, наблюдается постепенное увеличение плотности при практически неизменном значении потерь жидкости (табл. 1).

Кроме того, при минимальной концентрации танната кальция (до 1 %) происходит резкое снижение предела текучести, затем – при 1–3 % добавки – наблюдается дальнейшее постепенное его снижение. Дальнейший интерес представляют исследования влияния добавок танната кальция на буровой раствор при высоких температурах, а также его взаимодействие с другими добавками.

L. Guan, Y. Ma, Fulai Yu и др. показали в своей статье, что буровые растворы с добавкой камеди семян базилика (произрастает в Южной Азии, Африке) легко перекачиваются и подходят для очистки скважин, так как они могут переносить большое количество твердых частиц бурового раствора и породы, образующихся в процессе бурения [8]. Камедь базилика улучшает контроль фильтрации, предотвращает адсорбцию частиц бентонита и уменьшает флокуляцию, тем самым повышая стабильность буровых растворов. Улучшение тиксотропных свойств и фильтрационных характеристик после добавления порошков семян базилика связано с тем, что в суспензиях они превращаются в водный гель, способный уменьшать трение и удерживать воду благодаря своей наноразмерной трехмерной сетчатой структуре. Кроме того, гель может адсорбироваться на поверхности бентонита и металлических материалов, что может улучшить тиксотропные и смазочные свойства, а также фильтрационные характеристики материалов. Следовательно, камедь семян базилика может быть добавкой в водные высокоэффективные буровые растворы [8].

Исследование M Omotoma и др. влияния экстрактов кешью и манго на свойства водного бурового раствора показало, что они являются хорошим ингибитором коррозии, улучшая при этом реологические свойства бурового раствора [9]. При этом манго демонстрирует более значительное улучшение реологических характеристик. С увеличением концентрации добавок возрастает предел текучести и прочность геля. Однако наблюдается увеличение пластической вязкости, кроме того, исследования показали, что повышение температуры снижает реологические характеристики бурового раствора [9].

A.T.T. Al-Hameedi, H.N. Alkinani, Shari Dunn-Norman проводили исследование добавок порошка измельченных листьев пальмы с целью улучшения функциональности буровых растворов – для контроля вязкости, снижения pH раствора, а также объема фильтрации [10]. С целью выявления влияния температуры проводились исследования после выдержки образцов в роллерной печи при температуре 55 °С в течение 24 ч. Выявлено, что порошок листьев пальмы способствует снижению толщины глинистой корки и значительному снижению фильтрата после воздействия температуры (табл. 2).

Также A.R. Ismail, N.M.N.A. Mohd, N.F. Basir показали, что экстракты листьев хны и листьев гибискуса улучшают реологические и фильтрационные свойства водного бурового раствора [11]. Кроме того, листья хны оказались эффективны для улучшения реологических и фильтрующих свойств раствора в условиях повышенных температур. Исследования показали, что такие растительные добавки совместимы с обычными добавками буровых растворов. Также в статье A. Moslemizadeh и S.R. Shadizadeh показано, что экстракт хны повышает гидрофобность сланцевых пластов и эффективно уменьшает способность глины к набуханию [12].

Следует отметить, что для буровых растворов на водной основе крайне важны добавки, которые способны предотвращать или уменьшать взаимодействие глины и воды, а значит, набухание глины и, как следствие, разрушение ствола скважины. В настоящее время с этой целью используют добавки (например, KCl), которые могут оказывать негативное влияние на экологию. Поэтому S.R. Shadizadeh, A. Moslemizadeh и A. Shirmardi в качестве ингибирующей добавки предложили использовать новое неионное поверхностно-активное вещество – биоразлагаемый экстракт листьев зизифуса

Таблица 1

Зависимость реологических характеристик водного бурового раствора от концентрации танната кальция [7]

Содержание танната кальция, г/100 мл	Свойство раствора					
	кажущаяся вязкость, сР	пластическая вязкость, сР	прочность геля, lb/100 ft <sup>2</sup>	предел текучести, lb/100 ft <sup>2</sup>	плотность, фунт/галлон (ppg)	потери жидкости, мл
0	7,9325	5,884	2,544	4,097	8,7	12,1
0,5	7,4365	5,675	2,517	3,523	8,715	12,2
1	6,175	4,914	2,348	2,522	8,75	12,2
2	5,088	3,914	1,761	2,348	8,8	12,2
3	4,8925	2,936	1,37	2,1913	8,87	12,2

Таблица 2

Влияние концентрации добавки и температуры на свойства раствора [10]

Свойство	Базовый раствор	+ 1,5 % порошка листьев пальмы		+ 3 % порошка листьев пальмы	
		при норм. температуре	после выдержки	при норм. температуре	после выдержки
Пластическая вязкость, сП	8	9	9	12	9
Предел текучести, фунт/100 футов <sup>2</sup>	12	5	6	5	5
Нач. прочность геля	15	6	6	7	6
Кон. прочность геля	20	11	12	12	11
pH	11	8,8	8,7	8	8,1
Фильтрат 7,5 мин	6	4	4,25	3,25	4
Фильтрат 30 мин	12,5	9,25	9,5	8,5	9
Толщина глинистой корки, мм	3	1,9	2	2	2

шиповидного (*Ziziphus spina-christi*) – с концентрацией 3,5 % по массе, которое эффективно предотвращает набухание глины (в сравнении с КСl и полиамином). Также было установлено, что экстракт листьев зизифуса совместим с обычными добавками водных буровых растворов и имеет тенденцию снижать потери при фильтрации. Недостатком этой добавки может стать снижение активности при повышенной температуре [13].

Для увеличения нефтеотдачи пласта применяют поверхностно-активные вещества (ПАВ). Заводнение водными растворами ПАВ направлено на снижение межфазного натяжения границы раздела «вода – нефть». При этом капли нефти могут легко проходить через деформацию и фильтрацию пор, тем самым увеличивается подвижность нефти в пласте и улучшается ее вытеснение [14].

Так, исследования S. Shadizadeh и R. Kharrat показывают, что природное ПАВ на основе ромашки аптечной (концентрацией до 12 %) позволяет снизить значения межфазного натяжения нефти и воды с 30,63 до 12,57 мН/м, а также уменьшить краевой угол смачивания поверхности образца [15, 16]. Кроме того, F. Razzaghi-Koolae, G. Zargar, B.S. Soulgani, а также A. Moslemizadeh, A.F. Dehkordi и др. в своих статьях в качестве ингибирующей добавки предлагают использовать экстракт листа шелковицы и экстракт корня акантофилла (с концентрацией 1,4 % по массе). Результаты исследований показали, что экстракт листа шелковицы является эффективным поверхностно-активным веществом, способным значительно снизить набухание глины [17, 18]. Так, исследования показали, что ПАВ, содержащее 1 % по массе частиц листьев шелковицы, снижало межфазное натяжение между керосином и водой с 44 до 17,9 дин/см.

Также V. Prakash, N. Sharma, M. Bhattacharya и др. доказали, что порошок листьев личи китайской улучшает фильтрационные свойства бурового раствора [19]. Кроме того, ими показано, что порошок личи в качестве добавки способен выдерживать температуры до 100 °С. Так, при концентрации листьев личи 4 и 5 % и температуре 100 °С фильтрационные потери снижаются на 70,6 %, а толщина глинистой корки на 37,14 и 48,57 % соответственно. Кроме того, добавка порошка листьев личи снижает pH раствора [19].

M.E. Hossain и M. Wajheuddin в своей статье показали, что в качестве модификатора реологии буровых растворов на водной основе возможно

применение порошка травы [20]. Исследования проводились с добавками порошка травы разной концентрации и разных размеров частиц (300, 90 и 35 мкм). В результате были улучшены реологические свойства раствора, такие как кажущаяся и пластическая вязкость, а также прочность геля (табл. 3). Кроме того, добавка травы снижает потери фильтрата и pH раствора.

Было установлено оптимальное значение концентрации травы. Для добавки с частицами 35 и 300 мкм оно составило 0,75 ppb, с частицами 90 мкм – 1 ppb.

Кроме того, M. Wajheuddin и M.E. Hossain провели исследования золы травы разных фракций в качестве добавок к буровому раствору, которые также способствуют значительному увеличению вязкости, предела текучести и прочности геля. При этом происходит снижение потерь при фильтрации на 19 % [21]. Следующим этапом исследования может быть исследование влияния добавок травы на водный буровой раствор при повышенных температурах.

Во избежание поглощения буровых растворов Т.О. Комиловым и Д.Р. Махаматходжаевым предложено вводить в водные буровые растворы на основе бентонита добавки рисовой шелухи [22]. Проводились исследования с добавками модифицированной рисовой шелухи (МРШ) в виде раствора биополимеров и нерастворимых частиц рисовой шелухи, полученного в результате щелочного экстрагирования и сухого полимерного наполнителя (ПН), обработанной химико-механическим способом рисовой шелухи. Показано, что добавки рисовой шелухи заметно улучшают характеристики бурового раствора по снижению потерь жидкости, но могут привести к нежелательным результатам в отношении вязкости (табл. 4 и 5).

E. Yalman, T. Dercı и др. исследовали влияние золы рисовой шелухи на реологические характеристики водного раствора [23]. Было замечено, что при концентрации золы рисовой шелухи до 7 % происходит снижение пластической вязкости, что будет способствовать уменьшению потерь давления на трение во время циркуляции бурового раствора. Далее, после подъема пластической вязкости при концентрации добавки 9 % вновь происходит ее снижение до минимального значения при концентрации золы рисовой шелухи 15 % по массе (на 53 %). Кроме того, происходит повышение предела текучести, что должно обеспечивать несущую способность раствора, а значит, хорошую

Таблица 3

Влияние концентрации и размеров частиц добавки травы на реологические характеристики раствора [20]

Характеристика	Добавки травы, мкм														
	300					90					35				
	0,25	0,5	0,75	1,0	0,25	0,5	0,75	1,0	0,25	0,5	0,75	1,0			
Концентрация добавки, 10 <sup>-9</sup> %	0,25	0,5	0,75	1,0	0,25	0,5	0,75	1,0	0,25	0,5	0,75	1,0			
Кажущаяся вязкость, 0,001 Па·с	10,5	10,5	10,75	11	10,25	10,25	10,5	11	10,2	10,4	10,5	11			
Пластическая вязкость, 0,001 Па·с	8,5	8,5	8,5	8,5	8,0	8,0	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	9,0			
Предел текучести, Па	1,91	1,91	2,15	2,39	2,15	2,15	1,91	2,15	1,67	1,91	2,15	2,15			
Фильтрат, см <sup>3</sup>	13,5	12,0	11,5	11,25	14,2	14,0	11,9	11,6	14,6	13,8	12,5	12,0			
Оптимальная концентрация добавки	0,75					0,1					0,75				

Таблица 4

Зависимость характеристик бурового раствора от концентрации модифицированной рисовой шелухи [22]

№ р-ра	Состав раствора	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Условная вязкость, с	Водоотдача, см <sup>3</sup> /30 мин	Толщина глинистой корки, мм	pH
1	1000 мл вода + 100 г бентонита (исходный)	1080	20	40	6,0	7,0
2	1 + 1 % МРШ	1080	22	30	9,5	8,0
3	1 + 3 % МРШ	1075	30	25	2,5	9,0
4	1 + 5 % МРШ	1070	40	20	2,0	9,5
5	1 + 7,5 % МРШ	1060	50	16	1,5	10,5
6	1 + 10 % МРШ	1050	60	12	1,5	11,5

Таблица 5

Зависимость характеристик бурового раствора от концентрации сухого полимерного наполнителя [22]

№ р-ра	Состав раствора	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Условная вязкость, с	Водоотдача, см <sup>3</sup> /30 мин	Толщина глинистой корки, мм	pH
1	Исходный	1080	20	40	6	7
2	1 + 1 % ПН	1080	35	22	2	5
3	1 + 2 % ПН	1080	45	16	2	9
4	1 + 3 % ПН	1075	60	12	1,5	10
5	1 + 4 % ПН	1070	80	8	1	11
6	1 + 5 % ПН	1060	100	5	1	12

очистку скважины. Предел текучести повышался до максимального значения при концентрации 15 % (увеличение предела текучести на 183 %). Также добавка золы рисовой шелухи до 9 % по массе дает хорошие показатели фильтрата (наименьшие потери жидкости (до 10 %) – при концентрации 4 % по массе). Однако наблюдается тенденция увеличения глинистой корки (при сохранении ее в нормальных пределах – 1–2 мм – при концентрации до 12 %). Кроме того, добавление золы шелухи риса оказало отрицательное влияние на проницаемость глинистой корки. За исключением раствора с концентрацией добавки 2 % по массе, коэффициент проницаемости больше единицы, наблюдается устойчивая тенденция его увеличения (табл. 6).

Также добавление золы рисовой шелухи приводит к увеличению плотности бурового раствора.

A.S. Rohan, P. Joshi, S. Goyal исследовали влияние порошка семян тамаринда (Восточная Африка, тропики Азии) на плотность бурового раствора [24]. Было установлено, что плотность образца бурового раствора увеличивается при введении испытуемой добавки (порошок семян тамаринда с бентонитом и баритом). Средняя плотность бурового раствора, полученная при испытаниях, составила 8,662 фунта на галлон, что является хорошим показателем [24].

С целью поиска экологически чистых добавок О.Е. Agwu, J.U. Akpabio и G.W. Archibong провели сравнительное исследование толщины и характеристик глинистой корки, образующейся при введении в водный бентонитовый раствор добавок порошка рисовой шелухи и измельченных древесных опилок [25]. При этом авторы отметили значение очистки материалов (шелухи риса и опилок) от посторонних примесей и загрязнений. Исследования показали, что по мере увеличения концентрации добавки в растворе снижаются потери фильтрата, при этом для удовлетворительного результата требуется добавка больше 0,01 кг рисовой шелухи и больше 0,015 древесных опилок. При добавках в буровой раствор рисовой шелухи образовывалась глинистая корка

толщиной 2,8–3,8 мм. Она гладкая, ровная, а значит, раствор будет способствовать предотвращению залипания труб, в отличие от раствора с древесными опилками, глинистая корка в котором твердая и почти сухая (толщина 2,6–3,3 мм).

Высокая температура на забое способствует снижению вязкости и плотности бурового раствора, что негативно влияет на функциональные возможности бурового раствора при бурении [26]. Для улучшения свойств бурового раствора при действии высоких температур Н. Widodo, M.R. Setyanto и др. предложили использовать добавки порошка, полученного из скорлупы кокосового ореха – измельченного кокосового угля [27]. Замечено, что буровой раствор с порошком скорлупы кокосового ореха, по сравнению с тем же буровым раствором без добавок обеспечивает лучшие реологические свойства как при нормальной температуре, так и при высокой температуре под давлением (табл. 7).

Кроме того, с повышением температуры значение пластической вязкости и предела текучести снижается [27].

Также X. Chen, X. Gao, Y. Liu и др. установили, что измельченная шелуха подорожника улучшает реологические свойства бурового раствора на основе бентонита – обеспечивает хорошие показатели текучести и является эффективной для снижения фильтрата через глинистую корку, в том числе при высоких температурах (до 160 °C) [28]. Шелуха подорожника способствует получению глинистой корки с относительно плотной структурой, что снижает проницаемость глинистой корки и потери жидкости. Замечено также, что оптимальная концентрация добавки для поддержания хороших реологических показателей – 1,0 % по массе. При более высокой концентрации происходит резкое повышение вязкости раствора. Также исследования показывают, что добавка шелухи подорожника эффективно работает при температуре до 160 °C, так как при дальнейшем повышении температуры вязкость и предел текучести резко снижаются [28].

Таблица 6

Влияние концентрации золы рисовой шелухи на проницаемость глинистой корки [23]

Концентрация добавки, %	Коэфф. проницаемости глинистой корки
0	1
2	0,913
4	1,187
7	1,191
9	1,130
12,5	1,394
15	1,324

Таблица 7

Влияние добавки порошка кокосового угля на свойства бурового раствора при нормальной и высокой температуре [27]

Характеристика	Базовый буровой раствор	Буровой раствор с добавкой порошка кокоса
Объемный вес	1,4 г/см <sup>3</sup>	1,4 г/см <sup>3</sup>
Условная вязкость, по вискозиметру Марша 946 см <sup>3</sup>	24,480 с	25,560 с
pH	11	12
Фильтрат, под давлением 100 psi при норм. температуре	После 15 мин – 3,9 см <sup>3</sup> , после 30 мин – 12,9 см <sup>3</sup>	После 15 мин – 3,7 см <sup>3</sup> , после 30 мин – 12,5 см <sup>3</sup>
Фильтрат, под давлением 1500 psi при температуре 270° F (132,22 °C)	После 15 мин – 13 см <sup>3</sup>	После 15 мин – 11,5 см <sup>3</sup>
Глинистая корка	2,381 мм	0,794 мм
Вращение в роллерной печи	16 ч	16 ч

Таблица 8

Влияние фракции добавки косточек дикого мармелада на вязкость, предел текучести и прочность геля раствора [33]

Размер частиц, мкм	Кажущаяся вязкость, мПа·с	Пластическая вязкость, мПа·с	Предел текучести, Па	Прочность геля 10 с/10 мин/ Па / Па (тиксотропия)
Базовый раствор	3	2	1	1,5/2
100–150	4,5	3	1,5	0,75/1,5
75–100	6	4	2	2,0/3,5
54–75	6,5	4	2,5	2,0/3,5

Одной из проблем, вызываемых при бурении скважин, является коррозия бурильных труб. Коррозия приводит к снижению эффективности бурения, отказу оборудования и угрозе безопасности. P. Jaf, J. Ali и A.A.A. Razaq изучали в качестве антикоррозийной добавки к буровому раствору с целью контроля pH измельченные плоды мимозки выполненной (*Prosopis farcta*) [29]. Добавление порошка мимозки с частицами мелкого размера в концентрации 15 частей на миллиард позволило снизить pH с 12 в эталонном растворе до 9,5. При этом потеря веса купона на коррозию составила 0,002 г за 20 ч, результаты показали скорость коррозии в бурильных трубах с использованием исследуемой добавки 0,0029 мм/год [29].

M. Amanullah, J. Ramasamy и др. для контроля водоотдачи в буровых растворах на основе пресной и соленой воды предложили применять порошок финиковых семян. В их состав входят такие минералы, как калий, кальций, магний, фосфор и железо. Добавка приводит к существенному снижению потерь жидкости (на 20 %), увеличению вязкости и прочности геля [21, 30].

Кроме того, S. Davoodi, S.A. Ramazani, V. Rukavishnikov и K. Minaev в своей статье показали, что добавление в водный буровой раствор порошка из скорлупы желудя значительно улучшает его реологические и фильтрационные свойства. Так, введение порошка весом 9 фунтов/баррель в образец раствора привело к резкому снижению объема фильтрата на 80,1 при высоком давлении и высокой температуре и на 63,3 % при низком давлении и низкой температуре [31].

Кроме того, E.B. Ekeinde, E.E. Okoro и др. исследовали в качестве загустителя порошок высушенных плодов карамболы и детариума [32]. Показано, что добавка карамболы позволяет получить значения пластической вязкости, предела текучести и прочности геля (10 с), весьма близкие к PAC.

Также исследования G. Zhou, Z. Qiu, H.Zhong и Xin Zhao показывают, что при добавлении в буровой раствор порошка косточек дикого мармелада (*Ziziphus oenopolia*) разных фракций вязкость и предел текучести повышаются, а потери жидкости снижаются. Особенно это касается добавок мелкой фракции (табл. 8) [33].

Также в статье U.I. Duru, I. M. Onyejekwe, D. Isu, показано что семена мукуны (*Mucuna solanmie*) могут быть эффективны в качестве загустителя, при этом не влияя на характеристики других биоматериалов в буровом растворе [34]. Кроме того, N. Uwaezuoke, K.C. Igwilo, S.I. Onwukwe, B. Obah обнаружили, что при повышенных температурах свойства буровых растворов с добавкой порошка семян мукуны имеют аналогичную тенденцию изменения, как и при других добавках [35]. При этом плотность раствора при повышенной температуре остается неизменной.

I. Ali, M. Ahmad и T. Al-Arbi Ganat изучали влияние добавки порошка шишек кипариса на фильтрационные свойства бурового раствора [36]. Они позволили снизить объем потери жидкости, а также толщину глинистой корки. Таким образом, добавка подходит для контроля фильтрации. Однако пластическая вязкость при этом показывала устойчивую тенденцию к повышению, поэтому необходимо выбирать оптимальные концентрации добавки. Исследования показали, что оптимальная концентрация добавки – 4 % [36].

Рябинолистный широко распространен в умеренном поясе Северного полушария, а полисахарид пектин сравнительно легко выделяется из растения рябинника.

В статье С.Л. Аджиахметовой, Л.П. Мыкоц, Н.М Червонной и др. проведено исследование водных растворов пектиновых веществ, полученных из листьев рябинника рябинолистного, которое показало, что с увеличением концентрации происходит устойчивое повышение вязкости раствора [37]. Кроме того,

Таблица 9

Зависимость реологических свойств бурового раствора от концентрации порошка кожуры мандарина [42]

Состав	Плотность раствора, ppg	Пластическая вязкость, сП	Предел текучести, фунт/100 фут <sup>2</sup>	Прочность геля нач.	Прочность геля кон.	pH	Фильтрат 7,5 мин, см <sup>3</sup>	Фильтрат 30 мин, см <sup>3</sup>	Толщина глинистой корки, мм
Базовый раствор	8,6	7	11	12	17	10	6	12,5	3
Базовый + 1 % КМ	8,4	14	14	10	14	8	3,5	7	1,6
Базовый + 2 % КМ	8,2	24	17	10	14	7,7	2,75	6	1,4
Базовый + 3 % КМ	8	38	33	12	17	7	2	4,5	1,35
Базовый + 4 % КМ	8	63	57	24	28	6,8	1,75	4	1,35

Таблица 10

Зависимость толщины глинистой корки от размера частиц добавок [43]

Концентрация шелухи подсолнечника, %	Толщина глинистой корки для образцов с добавкой из апельсиновой корки, мм				Толщина глинистой корки для образцов с добавкой семян подсолнечника, мм			
	мелкий размер	средний размер	мелкие и средние частицы	крупный размер	мелкий размер	средний размер	мелкие и средние частицы	крупный размер
0,8	1,1	1,18	1,2	1,3	0,9	1,1	1,2	1,2
1,3	1,12	1,29	1,25	1,4	1,2	1,25	1,31	1,36
2,2	1,24	1,34	1,32	1,55	1,4	1,31	1,33	1,56
2,7	1,36	1,45	1,4	1,65	1,43	1,45	1,45	1,7
4,0	1,45	1,55	1,5	1,72	1,5	1,7	1,6	1,9

рябинник, являясь пектиновым веществом, обладает выраженной сорбционной способностью – способностью поглощать. Подобные исследования проводились для растворов пектина, выделенного из плодов калины обыкновенной [38], из черемши [39], из кожуры семян люпина [40], крыжовника отклоненного [41].

В дальнейшем предлагается провести исследование влияния этих добавок на водный буровой раствор.

**Применение агропромышленных отходов с целью улучшения свойств буровых растворов**

С целью поиска экологически чистой эффективной и недорогой добавки проводились исследования возможности использования пищевых отходов при бурении скважин. Так, А.Т.Т. Al-Hameedi, Н.Н. Alkinani, S. Dunn-Norman и др. исследовали влияние порошка кожуры мандарина на реологию буровых растворов [42]. При добавлении порошка кожуры мандарина наблюдается снижение массы раствора из-за образования пены. Чтобы минимизировать пенообразование предложено использовать экологически чистые пеногасящие добавки. Добавки порошка кожуры мандарина значительно увеличивают пластическую вязкость и предел текучести, особенно при концентрациях 3 и 4 %. Таким образом, добавка может быть использована в качестве модификатора вязкости при концентрациях 1 и 2 % во время обычных операций бурения и для контроля частичных потерь жидкости при концентрациях 3 и 4 %. Также добавка дает хорошие показатели прочности геля, так как разница между начальной и конечной прочностью геля не превышает 5 фунтов/100 футов<sup>2</sup>, что положительно отразится на буровых работах. Кроме того, наблюдается значительное снижение потерь фильтрата и толщины глинистой корки – особенно при концентрации 3–4 % и определенном значении pH (табл. 9) [42].

В ходе исследований было замечено, что кроме концентрации на свойства растворов влияет размер частиц добавляемого вещества. С целью изучения этих закономерностей М. Idress и М.Л. Hasan проводили исследования пищевых отходов – семян подсолнечника и кожуры апельсиновой корки – добавок крупного (>200 мкм), среднего (74–200 мкм) и мелкого (44–74 мкм) помола [43]. Было замечено, что пластическая вязкость увеличивается с возрастанием концентрации. Анализ влияния размеров добавляемых

частиц показывает, что при добавках мелкого размера наблюдаются более высокие значения пластической вязкости. Наибольшее значение пластической вязкости наблюдалось при концентрации 4 % апельсиновой корки мелкого помола – 18 сП и при концентрации 4 % семян подсолнечника мелкого помола – 19 сП.

Предел текучести также повышается с возрастанием концентрации добавок, при этом апельсиновая корка дает больший предел текучести. Кроме того, при добавках мелкого размера более высоких концентраций наблюдается больший предел текучести. Так, при концентрации 4 % апельсиновой корки крупного помола предел текучести составил 22 фунта/100 футов<sup>2</sup>, мелкого помола – 31 фунт/100 футов<sup>2</sup>; при концентрации 4 % шелухи подорожника крупного помола предел текучести составил 14 фунтов/100 футов<sup>2</sup>, мелкого помола – 17 фунтов/100 футов<sup>2</sup>.

Также замечено, что исследуемые добавки снижают потерю фильтрата, в том числе при повышенных температурах (до 120 °С). При этом мелкозернистые добавки позволяют добиться меньших потерь жидкости. Так, при концентрации 4 % апельсиновой корки крупного помола потери фильтрата снизились до 13,5 см<sup>3</sup>, мелкого помола – до 13,2 см<sup>3</sup>; при концентрации 4 % шелухи подорожника крупного помола потери фильтрата снизились до 11,8 см<sup>3</sup>, мелкого помола – до 11,5 см<sup>3</sup>. При этом при использовании аналогичной концентрации смеси добавок среднего и мелкого помола получены наименьшие значения потерь фильтрата – при добавках апельсиновой корки – 12,5 см<sup>3</sup>, шелухи подорожника – 11,0 см<sup>3</sup>. Зернистость добавок также влияет на толщину глинистой корки. При использовании мелкозернистых добавок наблюдается образование тонкой глинистой корки (табл. 10) [43].

М. Rizqi Al Asy'ari исследовал влияние яичной скорлупы на реологические и фильтрационные свойства бурового раствора [44]. Отмечено, что при этом наблюдается увеличение плотности бурового раствора (так как яичная скорлупа на 95 % состоит из утяжелителя CaCO<sub>3</sub>). Также порошок яичной скорлупы может значительно снизить потери жидкости и уменьшить толщину фильтрационной корки. Это возможно из-за функции CaCO<sub>3</sub> как агента контроля водоотдачи. Таким образом, яичная скорлупа может использоваться для контроля потерь жидкости.

Таблица 11

Влияние разных концентраций добавок кожуры банана, початка кукурузы и РАС на pH бурового раствора [45, 46]

Концентрация добавки, %	pH		
	добавка кожуры банана	добавка початка кукурузы	добавка РАС
0	8,6	8,6	8,6
1	8,58	8,61	8,63
2	8,55	8,62	8,7
3	8,54	8,63	8,75
4	8,53	8,8	8,8
5	8,5	8,85	9
6	8,48	9	9,1

Таблица 12

Влияние на реологические характеристики раствора добавок порошка гуммиарабика, картофельной и банановой кожуры и золы банановой кожуры [46]

Состав раствора	Вес раствора, ррg	Пластическая вязкость, сП	Предел текучести, фунт/100 футов <sup>2</sup>	Прочность геля, фунт/100 футов <sup>2</sup>	Потери жидкости, мл/ 30 мин	Толщина глинистой корки, дюйм
Базовый	8,6	8	15	12	59	0,283
Базовый + 5г (1 %) порошка банановой кожуры	8,6	7,5	9	11	22	0,150
Базовый + 5 г золы банановой кожуры	8,6	7,5	9	8	23	0,141
Базовый + 5 г порошка гуммиарабика	6,7	11	6	8	30	0,196
Базовый + 5 г порошка картофельной кожуры	7,8	10	16	13	13	0,162

Изучение влияния на реологию буровых растворов порошка сушеной банановой кожуры разных концентраций описано в статье А.Н. Assi, А.А. Haiwi и А. Lami [45]. Показано, что при концентрации банановой кожуры 5–6 % реологические и фильтрационные характеристики, а также толщина глинистой корки близки к показателям при использовании в качестве добавки высоковязкой полианионной целлюлозы РАС. При этом замечено, что добавки порошка початков кукурузы такой же концентрации дают меньшие показатели вязкости, предела текучести и плотности раствора, но при этом и на скорость фильтрации они влияют в меньшей степени.

Кроме того, кожура банана способствует снижению pH раствора, в то время как початок кукурузы, наоборот, повышает pH (табл. 11) [45, 46].

Добавки из кукурузных початков, таким образом, можно использовать в качестве альтернативы синтетическим полимерам для приготовления буровых растворов низкой вязкости, с целью получить хорошую скорость бурения и снизить потери давления из-за трения. А порошок сушеной банановой кожуры – для приготовления буровых растворов высокой вязкости.

Также S. Irawan, A. Zakuan, A. Azmi и Mohd. Saaid в своей статье отмечают, что добавки измельченных отходов сахарного тростника увеличивают плотность и пластическую вязкость бурового раствора [47].

Также замечено, что влияние добавок золы банановой кожуры схоже с таковым сушеной банановой кожуры (табл. 12) [46].

Добавки порошка гуммиарабика и кожуры картофеля значительно снизили массу раствора из-за вспенивания – на 22 и на 9 % соответственно.

Кроме того, добавки гуммиарабика и порошка картофельной кожуры значительно увеличивают пластическую вязкость (на 38 и 25 % соответственно). При этом порошок гуммиарабика значительно снижает предел текучести и прочность геля (через 10 с), а порошок картофельной кожуры увеличивает эти показатели [46].

Также порошок картофельной кожуры позволяет снизить толщину глинистой корки и потерю фильтрата на 78 %, по сравнению с базовым раствором, порошок и зола банановой кожуры – на 61 %, а порошок гуммиарабика – на 49 %.

Следует отметить, что данные сравнения проводились при неизменной концентрации добавок (1 %). А.Т. Al-

Hameedi, Н.Н. Alkinani, S. Dunn-Norman и др. изучали зависимость реологических и фильтрационных свойств от концентрации добавки картофельной кожуры [48]. Исследования показали, что с повышением концентрации добавки продолжается снижение потерь жидкости. Потери жидкости снизились на 12, 20, 28 и 30 % при концентрациях добавки 1, 2, 3 и 4 % соответственно, толщина глинистой корки снизилась на 43,33, 41,66, 40 и 40 % при концентрациях 1, 2, 3 и 4 % соответственно. Также с возрастанием концентрации продолжается увеличение пластической вязкости, но предел текучести и прочность геля с увеличением концентрации остаются практически неизменными [48]. (предел текучести снизился на 36,36 % при концентрации 1 % добавки и на 45,45 % при концентрации 2, 3 и 4 %; прочность геля снизилась на 25 % при концентрации добавки 1 % и на 33,33 % при концентрации 2, 3 и 4 %). Кроме того, порошок кожуры картофеля снижает pH раствора [48]. Таким образом, установлено, что картофельная кожура может быть использована как разбавитель, понизитель pH и добавка для контроля потерь жидкости.

А.К. Patidar, A. Sharma и D. Joshi в своей статье показали, что целлюлоза, экстрагированная из шелухи арахиса, показывает хорошее влияние на фильтрационные свойства раствора [49]. При этом наилучшие результаты показывает добавка с частицами мелкого размера. Так, добавка порошка арахисовой шелухи с частицами 63–74 мкм и концентрацией 4 % снижает потери жидкости при высоких температурах и давлении (после выдержки в роллерной печи) на 91,88 %. При этом вязкость предела текучести и прочность геля от показателей базового раствора отличаются незначительно. С увеличением концентрации добавок с 1 до 4 % происходит их постепенное увеличение [49].

G.C.J. Nmegbu и V. Vari-Agaga также показали, что целлюлоза, полученная из початков кукурузы, эффективно снижает потери жидкости в буровом растворе, по сравнению с РАС [50]. Исследовалось влияние на потери жидкости добавок трех составов: А – 2,0 г РАС+ 2,8 г ксантановая камедь; В – 2,8 г ксантановая камедь + 2,0 г целлюлоза из початков кукурузы; С – 2,8 г ксантановая камедь + 3,0 г целлюлоза из початков кукурузы. Установлено, что в образце С глинистая корка осаждается быстрее, по сравнению с образцами А и В. Соответственно, потери фильтрата в образце С наименьшие.

В качестве эффективного солестойкого понизителя фильтрации в буровых растворах используют крахмал. Известно, что крахмалы, полученные из разного сырья, модифицированные различными способами, проявляют существенно разные свойства [51]. Так, максимальная вязкость раствора будет зависеть от вида крахмала, концентрации его суспензии и скорости повышения температуры [52]. Недостатком крахмальных реагентов является его ферментативная неустойчивость. Буровые растворы имеют большое число микроорганизмов, попадающих в них из глины, воды, атмосферы и разбураемых пород. Для предотвращения загнивания в практике применяют увеличение pH до 11,5–12, засоление (не ниже 20 %) и добавку бактерицидов. В настоящее время ведутся постоянные поиски новых эффективных добавок на основе крахмала.

Так, X. Li, G. Jiang, Y. He и G. Chen соединяли крахмал с лигнином (лигносульфатом натрия) и полифенолом чая для получения высокоэффективной солеустойчивой добавки для контроля фильтрации водного бурового раствора – повышения качества фильтрационной корки, снижения потери жидкости [53]. Полученная добавка существенно снизила объем фильтрата как при нормальной, так и при повышенных температурах при стабильных показателях вязкости и размера текучести в условиях высоких температур. Кроме того, при повышенной температуре в присутствии солей (NaCl и CaCl<sub>2</sub>) объем фильтрации при добавлении исследуемой добавки снизился более чем в 2 раза.

Для стабилизации свойств водных буровых растворов предложено применение добавок природного пектина. Пектины – это высокомолекулярные соединения растительного происхождения, состоящие из остатков урсонных кислот и моносахаридов. Пектины являются абсолютно нетоксичными. Стабилизация свойств раствора происходит из-за взаимодействия между пектином и бентонитом [54]. В результате этого вокруг

коллоидных частиц бентонита образуется адсорбционная оболочка из высокомолекулярных соединений. Происходит снижение поглощения бурового раствора (благодаря способности пектина впитывать воду и его низкой водоотдаче, а также благодаря его способности закупоривать поры). Следует добавить, что чем больше пектина, тем больше толщина глинистой корки. А.Ж. Ысаковым и Н.Н. Кубатовым установлено, что наилучшие результаты достигают при добавке пектина от 0,1–1 до 5 %. Были проведены исследования влияния на буровой раствор пектата натрия, технического пектина, свекловичного пектина [55].

### Заключение

Буровые работы в сложных условиях невозможны без современных эффективных буровых растворов, для улучшения свойств которых требуются специальные добавки, обеспечивающие необходимые реологические и фильтрационные характеристики [56, 57]. В целях снижения вредного воздействия на окружающую среду исследуются возможности замены химических добавок экологически чистыми биоразлагаемыми растительными добавками. Как показывает анализ исследований, такие добавки способны обеспечить показатели, по крайней мере не уступающие современным химическим добавкам. Не вызывает сомнения, что использование органических добавок – перспективная область исследований. Агропромышленные отходы, такие как апельсиновая и мандариновая корка, семена подсолнечника, шелуха риса и арахиса, яичная скорлупа могут использоваться в качестве альтернативы добавкам, используемым в настоящее время для снижения и предотвращения поглощения буровых растворов. Использование этих материалов экологически безопасно и, что немаловажно, экономически выгодно [58]. Кроме того, использование пищевых отходов способствует решению проблемы накопления пищевых отходов, приносящих вред человеку и окружающей среде.

### Библиографический список

- Litvinenko, V.S. Elaboration of a conceptual solution for the development of the Arctic shelf from seasonally flooded coastal areas / V.S. Litvinenko, M.V. Dvoynikov, V.L. Trushko // International Journal of Mining Science and Technology. – 2021. – №32. – P. 1–1. DOI: 10.1016/j.ijmst.2021.09.010
- Исследование реологии растворов на углеводородной основе в зависимости от их компонентного состава / М.В. Лыбчинский, Н.И. Николаев, М.В. Никитова, М.Е. Бурдовская, Д.А. Сидоров // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2020. – №10. – P. 25–28. DOI: 10.33285/0130-3872-2020-10(334)-25-28
- Improvement of rheological and filtration characteristics of water-based drilling fluids using naturally derived henna leaf and hibiscus leaf extracts / A.R. Ismail, N.M.N.A. Mohd, N.F. Basir [et al.] // J. Petrol. Explor. Prod. Technol. – 2020. – Vol. 10. – P. 3541–3556. DOI:10.1007/s13202-020-01007-y
- Влияние добавок модифицированных гидролизных лигнинов на функциональные характеристики буровых растворов на водной основе / А.В. Минаков, Е.И. Михненко, А.Д. Скоробогатова, Д.В. Гусейн, В.А. Жигарев, [и др.] // Экология и промышленность России. – 2022. – Т.26, №8. – С. 32–39. DOI: 10.18412/1816-0395-2022-8-32-39
- Tannin-Based Deflocculants in High Temperature High Pressure Wells: A Comprehensive Review / M. Fokuo, W. Aggrey, M. Rockson, Y. Sokama-Neuyam, P. Boakye, G. Amenuvor, K. Sarkodie, E. Pinto, H. Karimaie // Advances in Chemical Engineering and Science. – 2021. – №11. – P. 263–289. DOI: 10.4236/aces.2021.114017
- Evaluation of a naturally derived tannin extract biopolymer additive in drilling muds for high-temperature well applications / A.R. Ismail, N.M.N.A. Mohd Norddin, N.A.S. Latefi, J.O. Oseh, I. Ismail, A.O. Gbadamosi, A.J. Agi // J. Pet. Explor. Prod. Technol. – 2020. – Vol.10. – P. 623 – 639. DOI: 10.1007/s13202-019-0717-7
- Use of Tannate derived from Tea Waste as Drilling Fluid Additive / P. Talukdar, S. Kalita, A. Pandey, U. Dutta, R. Singh // Int. J. Appl. Eng. Res. – 2018. – Vol.13, №16. – P. 12463–12468.
- The recent progress in the research of extraction and functional applications of basil seed gum / L. Guan, Y. Ma, F. Yu, X. Jiang, P. Jiang, Y. Zhang, C. Yuan, M. Huang, Z. Chen, L. Liu // Heliyon. – 2023. – Vol. 9, №9. DOI:10.1016/j.heliyon.2023.e19302
- Omotioma, M. Comparative analysis of the effects of cashew and mango extracts on the rheological properties of water based mud / M. Omotioma, P.C.N. Ejikeme, G.O. Mbah // J. Eng. Res. Appl. – 2014. – Vol. 4, №10. – P. 56–61.
- Experimental investigation of bio-enhancer drilling fluid additive: Can palm tree leaves be utilized as a supportive eco-friendly additive in water-based drilling fluid system? / A.T.T. Al-Hameedi, H.H. Alkinani, S. Dunn-Norman [et al.] // J. Pet. Explor. Prod. Technol. – 2020. – Vol. 10. – P. 595–603. DOI: 10.1007/s13202-019-00766-7
- Improvement of rheological and filtration characteristics of water-based drilling fluids using naturally derived henna leaf and hibiscus leaf extracts / A.R. Ismail, N.M.N.A. Mohd, N.F. Basir [et al.] // J. Petrol. Explor. Prod. Technol. – 2020. – Vol. 10. – P. 3541–3556. DOI:10.1007/s13202-020-01007-y
- Moslemizadeh, A. A natural dye in water-based drilling fluids: Swelling inhibitive characteristic and side effects / A. Moslemizadeh, S.R. Shadizadeh // Petroleum. – 2016. – Vol. 3, №3. – P. 355–366. DOI: 10.1016/j.petm.2016.08.007
- Shadizadeh, S.R. A novel nonionic surfactant for inhibiting shale hydration / S.R. Shadizadeh, A. Moslemizadeh, A. Shirmardi // Appl. Clay. Sci. – 2015. – Vol. 118. – P. 74–86. DOI:10.1016/j.clay.2015.09.006
- Environmentally Safe Technology to Increase Efficiency of High-Viscosity / A.N. Palyanitsina, E.U. Safiullina, R.V. Byazrov, D.G. Podoprigora, A.V. Alekseenko // Oil Production for the Objects with Advanced Water Cut Energies. – 2022. – №15. – P. 1–20. DOI: 10.3390/en15030753
- Shadizadeh, S.S. Experimental Investigation of Matricaria chamomilla Extract Effect on Oil-Water Interfacial Tension: Usable for Chemical Enhanced Oil Recovery / S.S. Shadizadeh, R. Kharrat // Pet. Sci. Technol. – 2015. – Vol. 33(8). – P. 901–907. DOI:10.1080/10916466.2015.1020063
- Kharrat, R. Experimental Investigation of Reservoir Rock Wettability Alteration by Matricaria Chamomilla Extract / R. Kharrat, S.S. Shadizadeh // Pet. Sci. Technol. – 2022. – Vol. 6, №3. DOI: 10.23880/ppetj-16000308
- Application of a non-ionic bio-surfactant instead of chemical additives for prevention of the permeability impairment of a swelling sandstone oil reservoir / F. Razzaghi-Koolae, G. Zargar., B.S. Soulgani, P. Mehrabianfar // J. Pet. Explor. Prod. Technol. – 2022. – Vol. 12. – P. 1523–1539. DOI:10.1007/s13202-021-01416-7
- Novel bio-based enhanced oil recovery in montmorillonite rich reservoirs: Adsorption behavior, interaction impact, and oil recovery studies / A. Moslemizadeh, A.F. Dehkordi, M.J. Barnaji, M. Naseri, S.G. Ravi, E.K. Jahromi // Chem. Eng. Res. Design. – 2016. – Vol. 109. – P. 18–31. DOI: 10.1016/j.cherd.2016.01.007
- Evaluation of environment friendly micro-ionized litchi leaves powder (LLP) as a fluid loss control agent in water-based drilling fluid / V. Prakash, N. Sharma, M. Bhattacharya [et al.] // J. Petrol. Explor. Prod. Technol. – 2021. – Vol. 11. – P. 1715–1726. DOI:10.1007/s13202-021-01147-9
- Hossain, M.E. The use of grass as an environmentally friendly additive in water-based drilling fluids / M.E. Hossain, M. Wajheuddin // J. Pet. Sci. – 2016. – Vol. 13. – P. 292–303. DOI: 10.1007/s12182-016-0083-8
- Wajheuddin, M. Development of an Environmentally-Friendly Water-Based Mud System Using Natural Materials / M.E. Hossain, M. Wajheuddin // Arab J Sci Eng. – Vol. 43(5). DOI:10.1007/s13369-017-2583-2

22. Комилов, Т.О. Усовершенствованный состав бурового раствора для предупреждения поглощения промывочных жидкостей / Т.О. Комилов, Д.Р. Махаматходжаев // Нефтяное хозяйство. – 2021. – №2. – С. 68–72. DOI: 10.24887/0028-2448-2021-2-68-72
23. A New Eco-Friendly and Low Cost Additive in Water-Based Drilling Fluids / E. Yalman, T. Depci, G. Federer-Kovacs, H. Al-Khalaf // The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin. – 2021. – P. 1–12. DOI: 10.17794/rgn.2021.5.1
24. Development of water based drilling fluid using tamarind seed powder / A.S. Rohan, P. Joshi, S. Goyal, R. Singh // Materials Today: Proceedings. – 2021. – Vol. 46. – P. 3–4. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.02.034
25. Agwu, O.E. Rice husk and saw dust as filter loss control agents for water-based muds / O.E. Agwu, J.U. Akpabio, G.W. Archibong // J. Heliyon. – 2019. – Vol. 5. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02059
26. Проектирование и инжиниринг буровых растворов для строительства скважин в условиях высоких температур и давлений / С.В. Игнатьев, М.С. Придворов, С.А. Евдокимов [и др.] // Бурение и нефть. – 2023. – №3. – С. 34–47.
27. Laboratory Analysis Using Coconut Shell from Bekasi Regency for Drilling Mud Additives on Oil and Gas Wells / H. Widodo, M.S. Riyadi, A. Andhy, M. Prastyia // J. Earth Energy Eng. – 2020. – Vol. 9, №1. – P. 46–58. DOI: 10.25299/jee.2020.3975
28. Application of Psyllium Husk as a Friendly Filtrate Reducer for High-Temperature Water-Based Drilling Fluids / X. Chen, X. Gao, J. Chen, Y. Liu, C. Song, W. Liu, Y. Wan, X. Kong, Y. Guan, Z. Qiu, H. Zhong, J. Yang, L. Cui // ACS Omega. – 2022. – Vol. 7. – P. 27787–27797. DOI:10.1021/acsomega.1c04999
29. Jaf, P. Drilling Pipe Corrosion Reduction Using Natural, Biodegradable, and Environmentally Friendly Additive to the Drilling Fluid / P. Jaf, J. Ali, A.A. Razzaq // ARO-The Scientific Journal of Koya University. – 2023. – Vol. 11 №1. – P. 138–142. DOI:10.14500/aro.11148
30. Application of an indigenous eco-friendly raw material as fluid loss additive / M. Amanullah, J. Ramasamy, M.K. Al-Arfaj, S. Aramco // J. Petroleum Science and Engineering. – 2016. – Vol. 139. – P. 191–197. DOI:10.1016/j.petrol.2015.12.023
31. Insights into application of acorn shell powder in drilling fluid as environmentally friendly additive: filtration and rheology / S. Davoodi, S.A.A. Ramazani, V. Rukavishnikov, K. Minaev // Int. J. Environ. Sci. Technol. – 2021. – Vol. 18. – P. 835–848. DOI: 10.1007/s13762-020-02880-0
32. Optimizing aqueous drilling mud system viscosity with green additives / E.B. Ekeinde, E.E. Okoro, A. Dosunmu, S. Iyuke // J. Petrol. Explor. Prod. Technol. – 2019. – Vol. 9. – P. 315–318. DOI: 10.1007/s13202-018-0481-0
33. Study of Environmentally Friendly Wild Jujube Pit Powder as a Water-Based Drilling Fluid Additive / G. Zhou, Z. Qiu, H. Zhong, X. Zhao // ACS Omega. – 2021. – Vol. 6. – P. 1436–1444. DOI: 10.1021/acsomega.0c05108
34. Performance evaluation of Mucuna solanaceae as a drilling fluid additive in water-based mud at cold temperature / U.I. Duru, I.M. Onyijekwe, D.O. Isu, N. Uwaezuoke, A.O. Arinkoola // J. Petroleum Gas Eng. – 2020. – Vol. 11(1). P. 1–8. DOI: 10.5897/JPGEE2019.0321
35. Effects of Temperature on Mucuna solanaceae Water-Based Mud Properties / N. Uwaezuoke, K.C. Igwilo, S.I. Onwukwe, B. Obah // Int. J. Adv. E. Sci. – 2017. – Vol. 4, №1. – P. 83–92. DOI: 10.22161/ijaers.4.1.13
36. Ali, I. Experimental study on water-based mud: investigate rheological and filtration properties using cypressus cones powder / I. Ali, M. Ahmad, T. A.A. Ganat // J. Pet. Explor. Prod. Technol. – 2022. – Vol. 12. – P. 2699–2709. DOI:10.1007/s13202-022-01471-8
37. Изучение реологических и сорбционных свойств пектиносодержащих растворов из листьев рябины рябинолистного / С.Л. Аджиахметова, Л.П. Мыкоц, Н.М. Червоная, И.И. Харченко, Н.А. Туховская, Э.Т. Оганесян // Фармация и фармакология. – 2017. – Т.5, №5. – С. 442–455. DOI: 10.19163/2307-9266-2017-5-5-442-456
38. Мыкоц, Л.П. Изучение сорбционной способности пектина, выделенного из плодов калины обыкновенной по отношению к ионам свинца / Л.П. Мыкоц, Н.А. Романцова, А.В. Гушина // Фундаментальные исследования. – 2013. – №3(1). – С. 197–200.
39. Манукян, К.А. Изучение сорбционной способности пектина из лука медвежьего (черемши) по отношению к ионам свинца (Pb) / К.А. Манукян, Л.П. Мыкоц, Е.В. Компанцева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т.14, №1 (9). – С. 2263–2265.
40. Исследование сорбционной способности пектина, полученного кислотным экстрагированием из кожуры семян люпина / Т.М. Васина, Л.П. Мыкоц, Н.А. Туховская, Н.С. Зблещева, А.Л. Белоусова, В.А. Компанцев // Байкальский медицинский журнал. – 2012. – №5. – С. 115–117.
41. Исследование сорбционной способности пектинов и водорастворимых полисахаридов крыжовника отклоненного / С.Л. Аджиахметова, И.И. Селина, Л.В. Лигаи, Л.П. Мыкоц, Э.Т. Оганесян, Н.А. Туховская // Научные ведомости. – 2013. – №11. – С. 278–283.
42. Experimental Investigation of Environmentally Friendly Drilling Fluid Additives (Mandarin Peels Powder) to Substitute the Conventional Chemicals Used in Water-Based Drilling Fluid / A.T.T. Al-Hameedi, H.N. Alkinani, S. Dunn-Norman [et al.] // J. Petrol. Explor. Prod. Technol. – 2020. – Vol. 10. – P. 407–417. DOI: 10.1007/s13202-019-0725-7
43. Idress, M. Investigation of different environmental-friendly waste materials as lost circulation additive in drilling fluids / M. Idress, M.L. Hasan // J. Petrol. Explor. Prod. Technol. – 2020. – №10. – P. 233–242. DOI: 10.1007/s13202-019-00752-z
44. Rizqi, Al Asy'ari. Eco-Friendly Bridging Material: Experimental Characterization of Eggshells as an Affordable Natural Waste Non-Damaging Lost Circulation Material to Reduce Drilling Fluid Cost in Reservoir Drill-In-Fluid System / Al Asy'ari, Rizqi, M.N. Affabayan, Riska Fitri Nurul Karimah // J. Earth Energy Eng. – 2022. – Vol. 11, №2. – P. 92–105. DOI:10.25299/jee.2022.9158
45. Assi, A.H. Enhancing the Rheological Properties of Water-Based Drilling Fluid by Utilizing of Environmentally-Friendly Materials / A.H. Assi, A.A. Haiwi // Open Access. – 2021. – №32. – P. 66–81. DOI: 10.52716/jprs.v11i3.533
46. Empirical Studies of the Effectiveness of Bio-enhancers (Food Waste Products) as Suitable Additives in Environmental Friendly Drilling Fluid Systems / K. Amadi, M. Alsaba, I. Iyalla, M. Al Dushaishi, A. Al-Hameedi, H. Alkinani // AADE-18-FTCE-105
47. Corn Cobs and Sugar Cane Waste as a Viscosifier in Drilling Fluid / S. Irawan, A. Zakuan, A. Azmi, Saaid. Mohd // Pertanika J. Trop. Agric. Sci. – 2009. – Vol. 17 (1). – P. 173–181.
48. Proposing a new biodegradable thinner and fluid loss control agent for water-based drilling fluid applications / A.T. Al-Hameedi, H.N. Alkinani, S. Dunn-Norman [et al.] // Int. J. Environ. Sci. Technol. – 2020. – Vol.17. – P. 3621–3632. DOI:10.1007/s13762-020-02650-y
49. Patidar, A.K. Formulation of cellulose using groundnut husk as an environment-friendly fluid loss retarder additive and rheological modifier comparable to PAC for WBM / A.K. Patidar, A. Sharma, D. Joshi // J. Petrol. Explor. Prod. Technol. – 2020. – Vol. 11. – P. 3449–3466. DOI: 10.1007/s13202-020-00984-4
50. Nmegebu, C.G.J. Evaluation of Corn Cob Cellulose and its Suitability for Drilling Mud Formulation / C.G.J. Nmegebu, B.A. Bekee // J. Eng. Res. Appl. – 2014. – Vol. 4, №5. – P. 112–117.
51. Лышко, О.Г. Выбор крахмалов для регулирования фильтрационных и реологических свойств буровых биополимерных растворов / О.Г. Лышко // Булатовские чтения: материалы IV Международной научно-практической конференции. – 2020. – Т. 3. – С. 154–159.
52. Проходка в хемогенных породах. Анализ проблем разработки рецептуры бурового раствора / В.В. Никишин, П.А. Блинов, А.И. Соломенникова, М.М. Соколова, В.Г. Гореликов, Н.М. Силничев // ДЕЛОВОЙ ЖУРНАЛ NEFTEGAZ.RU. – 2023. – №6. – P. 62–65.
53. Novel starch composite fluid loss additives and their applications in environmentally friendly water-based drilling fluids / X. Li, G. Jiang, Y. He, G. Chen // Energy Fuels. – 2021. – Vol.35. – P.2506–2513. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.0c03258
54. Некрасова, И.Л. Аспекты экологической и промышленной безопасности применения технологических жидкостей на неводной основе в процессах строительства и освоения скважин / И.Л. Некрасова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета Недропользование. – 2018. – Т.18. №1. – С. 41–52. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.3.4
55. Ысаков, А.Ж. Разработка новых видов промывочной жидкости для бурения скважин / А.Ж. Ысаков, Н.Н. Кубатова // Известия КГТУ им. И. Раззакова. – 2014. – №31. – С. 404–406
56. Некрасова, И.Л. Совершенствование критериев оценки качества буровых растворов на углеводородной основе в зависимости от горно-геологических условий их применения / И.Л. Некрасова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета Недропользование. – 2018. – Т.18. №2. – С. 129–139. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.4.3
57. Леушева, Е.Л. Исследование безбаритных буровых растворов / Е.Л. Леушева, Н.Т. Алиханов // Недропользование. – 2021. – Т.21, №3. – С. 123–130. DOI: 10.15593/2712-8008/2021.3.4
58. Лаврентиади, Ю.С. Леушева Е.Л. Повышение экологичности технологических жидкостей, применяемых для бурения скважин / Ю.С. Лаврентиади, Е.Л. Леушева // Недропользование. – 2023. – Т.23, №1. – С. 32–43. DOI: 10.15593/2712-8008/2023.1.5

## References

1. Litvinenko V.S., Dvoynikov M.V., Trushko V.L. Elaboration of a conceptual solution for the development of the Arctic shelf from seasonally flooded coastal areas. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2021, no. 32, pp. 1–1. DOI: 10.1016/j.ijmst.2021.09.010
2. Dvoynikov M.V., Nikolaev N.I., Nutskova M.V., Budovskaia M.E., Sidorov D.A. Issledovanie reologii rastvorov na uglevodородной основе v zavisimosti ot ikh komponentnogo sostava [A study of hydrocarbon-based solutions rheology depending on its component composition]. *Stroitel'stvo nefnykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*, 2020, no. 10, pp. 25–28. DOI: 10.33285/0130-3872-2020-10(334)-25-28
3. Ismail A.R., Mohd N.M.N.A., Basir N.F. et al. Improvement of rheological and filtration characteristics of water-based drilling fluids using naturally derived henna leaf and hibiscus leaf extracts. *J. Petrol. Explor. Prod. Technol.*, 2020, vol. 10, pp. 3541–3556. DOI: 10.1007/s13202-020-01007-y
4. Minakov A.V., Mikhienkova E.I., Skorobogatova A.D., Guzei D.V., Zhigarev V.A. et al. Vliianie dobavok modifitsirovannykh gidroliznykh ligninov na funktsional'nye kharakteristiki burovyykh rastvorov na vodnoi osnove [Impact of Modified Hydrolytic Lignin Additives on the Functionality of Water-Based Drilling Fluids]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2022, vol. 26, no. 8, pp. 32–39. DOI: 10.18412/1816-0395-2022-8-32-39
5. Fokuo M., Aggrey W., Rockson M., Sokama-Neuyam Y., Boakye P., Amenuvor G., Sarkodie K., Pinto E., Karimaie H. Tannin-Based Defloculants in High Temperature High Pressure Wells: A Comprehensive Review. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 2021, no. 11, pp. 263–289. DOI: 10.4236/aces.2021.114017
6. Ismail A.R., Mohd Nordin M.N.A., Latefi N.A.S., Oseh J.O., Ismail I., Gbadamosi A.O., Agi A.J. Evaluation of a naturally derived tannin extracts biopolymer additive in drilling muds for high-temperature well applications. *J. Pet. Explor. Prod. Technol.*, 2020, vol. 10, pp. 623–639. DOI: 10.1007/s13202-019-0717-7
7. Talukdar P., Kalita S., Pandey A., Dutta U., Singh R. Use of Tannate derived from Tea Waste as Drilling Fluid Additive. *Int. J. Appl. Eng. Res.*, 2018, vol. 13, no. 16, pp. 12463–12468.
8. Guan L., Ma Y., Yu F., Jiang X., Jiang P., Zhang Y., Yuan C., Huang M., Chen Z., Liu L. The recent progress in the research of extraction and functional applications of basil seed gum. *Heliyon*, 2023, vol. 9, no. 9. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e19302
9. Omotoma M., Ejikeme P.C.N., Mbah G.O. Comparative analysis of the effects of cashew and mango extracts on the rheological properties of water based mud. *J. Eng. Res. Appl.*, 2014, vol. 4, no. 10, pp. 56–61.
10. Al-Hameedi A.T.T., Alkinani H.N., Dunn-Norman S. et al. Experimental investigation of bio-enhancer drilling fluid additive: Can palm tree leaves be utilized as a supportive eco-friendly additive in water-based drilling fluid system? *J. Pet. Explor. Prod. Technol.*, 2020, vol. 10, pp. 595–603. DOI: 10.1007/s13202-019-00766-7
11. Ismail A.R., Mohd N.M.N.A., Basir N.F. et al. Improvement of rheological and filtration characteristics of water-based drilling fluids using naturally derived henna leaf and hibiscus leaf extracts. *J. Petrol. Explor. Prod. Technol.*, 2020, vol. 10, pp. 3541–3556. DOI: 10.1007/s13202-020-01007-y
12. Moslemzadeh A., Shadzadeh S.R. A natural dye in water-based drilling fluids: Swelling inhibitive characteristic and side effects. *Petroleum*, 2016, vol. 3, no. 3, pp. 355–366. DOI: 10.1016/j.petlm.2016.08.007

13. Shadizadeh S.R., Moslemizadeh A., Shirmardi A. A novel nonionic surfactant for inhibiting shale hydration *Appl. Clay. Sci.*, 2015, vol. 118, pp. 74-86. DOI: 10.1016/j.clay.2015.09.006
14. Palyanitsina A.N., Safullina E.U., Byazrov R.V., Podoprigora D.G., Alekseenko A.V. Environmentally Safe Technology to Increase Efficiency of High-Viscosity. Oil Production for the Objects with Advanced Water Cut. *Energies*, 2022, no. 15, pp. 1-20. DOI: 10.3390/en15030753
15. Shadizadeh S.S., Kharrat R. Experimental Investigation of Matricaria chamomilla Extract Effect on Oil-Water Interfacial Tension: Usable for Chemical Enhanced Oil Recovery. *Pet. Sci. Technol.*, 2015, vol. 33 (8), pp. 901-907. DOI:10.1080/10916466.2015.1020063
16. Kharrat R., Shadizadeh S.S. Experimental Investigation of Reservoir Rock Wettability Alteration by Matricaria Chamomilla Extract. *Pet. Sci. Technol.*, 2022, vol. 6, no. 3. DOI: 10.23880/ppej-16000308
17. Razzaghi-Koolaei F., Zargar G., Soulgani B.S., Mehrabianfar P. Application of a non-ionic bio-surfactant instead of chemical additives for prevention of the permeability impairment of a swelling sandstone oil reservoir. *J. Pet. Explor. Prod. Technol.*, 2022, vol. 12, pp. 1523-1539. DOI: 10.1007/s13202-021-01416-7
18. Moslemizadeh A., Dehkordi A.F., Barnaji M.J., Naseri M., Ravi S.G., Jahromi E.K. Novel bio-based surfactant for chemical enhanced oil recovery in montmorillonite rich reservoirs: Adsorption behavior, interaction impact, and oil recovery studies. *Chem. Eng. Res. Design.*, 2016, vol. 109, pp. 18-31. DOI: 10.1016/j.cherd.2016.01.007
19. Prakash V., Sharma N., Bhattacharya M. et al. Evaluation of environment friendly micro-ionized litchi leaves powder (LLP) as a fluid loss control agent in water-based drilling fluid. *J. Petrol. Explor. Prod. Technol.*, 2021, vol. 11, pp. 1715-1726. DOI: 10.1007/s13202-021-01147-9
20. Hossain M.E., Wajheuddin M. The use of grass as an environmentally friendly additive in water-based drilling fluids. *J. Pet. Sci.*, 2016, vol. 13, pp. 292-303. DOI: 10.1007/s12182-016-0083-8
21. Wajheuddin M., Hossain M.E. Development of an Environmentally-Friendly Water-Based Mud System Using Natural Materials. *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 43 (5). DOI: 10.1007/s13369-017-2583-2
22. Komilov T.O., Makhamatkhodzhaev D.R. Usovershenstvovannyi sostav burovogo rastvora dlia preduprezhdeniia pogloshcheniia promyvochnykh zhidkostei [Advanced drilling mud for preventing complications related to absorption of flushing fluids]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2021, no. 2, pp. 68-72. DOI: 10.24887/0028-2448-2021-2-68-72
23. Yalman E., Depci T., Federer-Kovacs G., Al-Khalaf H. A New Eco-Friendly and Low Cost Additive in Water-Based Drilling Fluids. *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*, 2021, pp. 1-12. DOI: 10.17794/rgn.2021.5.1
24. Rohan A.S., Joshi P., Goyal S., Singh R. Development of water based drilling fluid using tamarind seed powder. *Materials Today: Proceedings*, 2021, vol. 46, pp. 3-4. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.02.034
25. Agwu O.E., Akpabio J.U., Archibong G.W. Rice husk and saw dust as filter loss control agents for water-based muds. *J. Heliyon*, 2019, vol. 5. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02059
26. Ignat'ev S.V., Pridorov M.S., Evdokimov S.A. et al. Proektirovanie i inzhiniring burovnykh rastvorov dlia stroitel'stva skvazhin v usloviakh vysokikh temperatur i davlenii [Drilling fluid design and engineering for HTHP well construction]. *Burenie i nef'*, 2023, no. 3, pp. 34-47.
27. Widodo H., Riyadi M.S., Andhy A., Prastya M. Laboratory Analysis Using Coconut Shell from Bekasi Regency for Drilling Mud Additives on Oil and Gas Wells. *J. Earth Energy Eng.*, 2020, vol. 9, no. 1, pp. 46-58. DOI: 10.25299/jeec.2020.3975
28. Chen X., Gao X., Chen J., Liu Y., Song C., Liu W., Wan Y., Kong X., Guan Y., Qiu Z., Zhong H., Yang J., Cui L. Application of Psyllium Husk as a Friendly Filtrate Reducer for High-Temperature Water-Based Drilling Fluids. *ACS Omega*, 2022, vol. 7, pp. 27787-27797. DOI: 10.1021/acsomega.1c04999
29. Jaf P., Ali J., Razaq A.A. Drilling Pipe Corrosion Reduction Using Natural, Biodegradable, and Environmentally Friendly Additive to the Drilling Fluid. *ARO-The Scientific Journal of Koya University*, 2023, vol. 11, no. 1, pp. 138-142. DOI: 10.14500/aro.11148
30. Amanullah M., Ramasamy J., Al-Arfaj M.K., Aramco S. Application of an indigenous eco-friendly raw material as fluid loss additive. *J. Petroleum Science and Engineering*, 2016, vol. 139, pp. 191-197. DOI:10.1016/j.petrol.2015.12.023
31. Davoodi S., Ramazani S.A.A., Rukavishnikov V., Minaev K. Insights into application of acorn shell powder in drilling fluid as environmentally friendly additive: filtration and rheology. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 2021, vol. 18, pp. 835-848. DOI: 10.1007/s13762-020-02880-0
32. Ekeinde E.B., Okoro E.E., Dosunmu A., Iyuke S. Optimizing aqueous drilling mud system viscosity with green additives. *J. Petrol. Explor. Prod. Technol.*, 2019, vol. 9, pp. 315-318. DOI: 10.1007/s13202-018-0481-0
33. Zhou G., Qiu Z., Zhong H., Zhao X. Study of Environmentally Friendly Wild Jujube Pit Powder as a Water-Based Drilling Fluid Additive. *ACS Omega*, 2021, vol. 6, pp. 1436-1444. DOI: 10.1021/acsomega.0c05108
34. Duru U.I., Onyijekwe I.M., Isu D.O., Uwaezuoke N., Arinkoola A.O. Performance evaluation of Mucuna solanum as a drilling fluid additive in water-based mud at cold temperature. *J. Petroleum Gas Eng.*, 2020, vol. 11 (1), pp. 1-8. DOI: 10.5897/JPGEE2019.0321
35. Uwaezuoke N., Igwilo K.C., Onwukwe S.I., Obah B. Effects of Temperature on Mucuna solanum Water-Based Mud Properties. *Int. J. Adv. E. Sci.*, 2017, vol. 4, no. 1, pp. 83-92. DOI: 10.22161/ijaes.4.1.13
36. Ali I., M. Ahmad, Ganat T.A.A. Experimental study on water-based mud: investigate rheological and filtration properties using cypressus cones powder. *J. Pet. Explor. Prod. Technol.*, 2022, vol. 12, pp. 2699-2709. DOI: 10.1007/s13202-022-01471-8
37. Adzhiakhmetova S.L., Mykots L.P., Chervonnaia N.M., Kharchenko I.I., Tukhovskaia N.A., Oganesian E.T. Izuchenie reologicheskikh i sorbtionnykh svoystv pektinsoderzhashchikh rastvorov iz listev riabinnika riabinolistnogo [The study of rheological and sorption properties of pectinesterase solutions from the leaves of Sorbaria sorbifolia]. *Farmatsiia i farmakologiya*, 2017, vol. 5, no. 5, pp. 442-455. DOI: 10.19163/2307-9266-2017-5-5-442-456
38. Mykots L.P., Romantsova N.A., Gushchina A.V. Izuchenie sorbtionnoi sposobnosti pektina, vydelennogo iz plodov kaliny obyknovnoy po otnosheniiu k ionam svintsy [Research of the pectin isolated from fresh fruits of cranberry high for sorption ability in relation to ion of lead]. *Fundamentalnye issledovaniia*, 2013, no. 3 (1), pp. 197-200.
39. Manukhina K.A., Mykots L.P., Kompantseva E.V. Izuchenie sorbtionnoi sposobnosti pektina iz luka medvezhego (cheremshi) po otnosheniiu k ionam svintsy (II) [Studying the sorption ability of pectin from onion bear (ramson) (Allium ursinum L.) in relation to lead (II) ions]. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2012, vol. 14, no. 1 (9), pp. 2263-2265.
40. Vasina T.M., Mykots L.P., Tukhovskaia N.A., Ziaablitsva N.S., Belousova A.L., Kompantsev V.A. Issledovanie sorbtionnoi sposobnosti pektina, poluchennogo kislotnym ekstragirovaniiem iz kozhury semian liupina [The study of sorption ability of the pectin, obtained by lemon acid extraction from the skin of lupine's seeds]. *Baikal'skii meditsinskii zhurnal*, 2012, no. 5, pp. 115-117.
41. Adzhiakhmetova S.L., Selina I.I., Ligai L.V., Mykots L.P., Oganesian E.T., Tukhovskaia N.A. Issledovanie sorbtionnoi sposobnosti pektinov i vodorastvorimykh polisakharidov kryzhovnika otklonennogo [Study of the capacity of sorption of pectin and water-soluble polysaccharides of gooseberry rejected (Grossularia reclinata (L) Mill), leaves black mulberry (Morus nigra L.) and mulberry white (Morus alba L.)]. *Nauchnye vedomosti*, 2013, no. 11, pp. 278-283.
42. Al-Hameedi A.T.T., Alkinani H.H., Dunn-Norman S. et al. Experimental Investigation of Environmentally Friendly Drilling Fluid Additives (Mandarin Peels Powder) to Substitute the Conventional Chemicals Used in Water-Based Drilling Fluid. *J. Petrol. Explor. Prod. Technol.*, 2020, vol. 10, pp. 407-417. DOI: 10.1007/s13202-019-0725-7
43. Idress M., Hasan M.L. Investigation of different environmental-friendly waste materials as lost circulation additive in drilling fluids. *J. Petrol. Explor. Prod. Technol.*, 2020, no. 10, pp. 233-242. DOI: 10.1007/s13202-019-00752-z
44. Rizqi Al Asy'ari, Afifabyan M.N., Riska Fitri Nurul Karimah. Eco-Friendly Bridging Material: Experimental Characterization of Eggshells as an Affordable Natural Waste Non-Damaging Lost Circulation Material to Reduce Drilling Fluid Cost in Reservoir Drill-In-Fluid System. *J. Earth Energy Eng.*, 2022, vol. 11, no. 2, pp. 92-105. DOI: 10.25299/jeec.2022.9158
45. Assi A.H., Haiwi A.A. Enhancing the Rheological Properties of Water-Based Drilling Fluid by Utilizing of Environmentally-Friendly Materials. *Open Access*, 2021, no. 32, pp. 66-81. DOI: 10.52716/jprs.v11i3.533
46. Amadi K., Alsaba M., Iyalla I., Al Dushaishi M., Al-Hameedi A., Alkinani H. Empirical Studies of the Effectiveness of Bio-enhancers (Food Waste Products) as Suitable Additives in Environmental Friendly Drilling Fluid Systems. *AADE-18-FTCE-105*
47. Iranwan S., Zakuan A., Azmi A., Saaid M. Corn Cobs and Sugar Cane Waste as a Viscosifier in Drilling Fluid. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.*, 2009, vol. 17 (1), pp. 173-181.
48. Al-Hameedi A.T., Alkinani H.H., Dunn-Norman S. et al. Proposing a new biodegradable thinner and fluid loss control agent for water-based drilling fluid applications. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 2020, vol. 17, pp. 3621-3632. DOI:10.1007/s13762-020-02650-y
49. Patidar A.K., Sharma A., Joshi D. Formulation of cellulose using groundnut husk as an environment-friendly fluid loss retarder additive and rheological modifier comparable to PAC for WBM. *J. Petrol. Explor. Prod. Technol.*, 2020, vol. 11, pp. 3449-3466. DOI: 10.1007/s13202-020-00984-4
50. Nmegbu C.G.J., Bekeke B.A. Evaluation of Corn Cob Cellulose and its Suitability for Drilling Mud Formulation. *J. Eng. Res. Appl.*, 2014, vol. 4, no. 5, pp. 112-117.
51. Lysenko O.G. Vyborkrakhmalov dlia regulirovaniia fil'tratsionnykh i reologicheskikh svoystv burovnykh biopolimernykh rastvorov [The choice of starch for regulating the filtration and rheological properties of drilling biopolymer fluids]. *Bulatovskie chteniia. Materialy IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, 2020, vol. 3, pp. 154-159.
52. Nikishin V.V., Blinov P.A., Solomennikova A.I., Sokolova M.M., Gorelikov V.G., Silichev N.M. Prokhodka v khemogennykh porodakh. Analiz problema razrabotki retseptury burovogo rastvora [Drilling in Chemogenic Rocks. Analysis of Problems of Developing a Drilling Mud Recipe]. *Delovoi zhurnal NEFTEGAZ.RU*, 2023, no. 6, pp. 62-65.
53. Li X., Jiang G., He Y., Chen G. Novel starch composite fluid loss additives and their applications in environmentally friendly water-based drilling fluids. *Energy Fuels*, 2021, vol. 35, pp. 2506-2513. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.0c03258
54. Nekrasova I.L. Aspekty ekologicheskoi i promyshlennoi bezopasnosti primeniia tekhnologicheskikh zhidkostei na nevodnoi osnove v protsessakh stroitel'stva i osvoeniia skvazhin [Aspects of environmental and industrial safety of non-aqueous process fluids in construction and completion of wells]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta Nedropol'zovanie*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 41-52. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.3.4
55. Ysakov A.Zh., Kubatova N.N. Razrabotka novykh vidov promyvochnoi zhidkosti dlia bureniia skvazhin [Development of new types of drilling fluid for wells]. *Izvestiia Kyrgyzskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni I. Razzakova*, 2014, no. 31, pp. 404-406.
56. Nekrasova I.L. Sovershenstvovanie kriteriev otsenki kachestva burovnykh rastvorov na uglevododorodnoi osnove v zavisimosti ot gorno-geologicheskikh uslovii ikh primeniia [Improvement of the criteria for assessing the quality of hydrocarbon-based muds in terms of geological conditions of their use]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Nedropol'zovanie*, 2018, vol. 18, no. 2, pp. 129-139. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.4.3
57. Leusheva E.L., Alikhanov N.T. Issledovanie bezbaritnykh burovnykh rastvorov [Research of Bare-Free Drilling Fluids]. *Nedropol'zovanie*, 2021, vol. 21, no. 3, pp. 123-130. DOI: 10.15593/2712-8008/2021.3.4
58. Lavrentiadi Iu.S., Leusheva E.L. Povyshenie ekologicheskoi tekhnologicheskikh zhidkostei, primeniemykh dlia bureniia skvazhin [Increasing the Environmental Friendly of Process Fluids Used for Well Drilling]. *Nedropol'zovanie*, 2023, vol. 23, no. 1, pp. 32-43. DOI: 10.15593/2712-8008/2023.1.5

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов равноценен.