

zone in a depression to intensify oil inflow]. *Vestnik Severo-Kavkazskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the North Caucasus State Technical University], 2009, no. 2, pp. 9–13.

8. Kuznetsov O. L., Yefimova S. A. *Primenenie ultrazvuka v neftyanoy promyshlennosti* [The use of ultrasound in the oil industry], Moscow, Nedra Publ. 1983.

9. Mun F. *Khaoticheskie kolebaniya. Vvodnyy kurs dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov* [Chaotic oscillations. Introductory course for scientists and engineers], Moscow, Mir Publ., 1990. 312 p.

10. Pirsol I. *Kavitatsiya* [Cavitation], Moscow, Mir Publ., 1975. 95 p.

11. Sigovarov L. A. *Teoreticheskoe obosnovanie impulsno-volnovykh tekhnologiy s primeneniem generatora UGSV-3 : otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote* [Theoretical Substantiation of Pulse-Wave Technologies Using Generator UGSV 3. Proceedings of the Research Work], Astrakhan, 2015.

12. Solovyanova I. P., Shabunin S. N. *Teoriya volnovykh protsessov: Akusticheskie volny* [The theory of wave processes: Acoustic waves], Ekaterinburg, Ural State Technical University – UPI Publ. House, 2004. 95 p.

13. Suleymanov B. A., Ismaylov Sh. Z. *Povyshenie effektivnosti fizicheskogo vozdeystviya na prizaboynuyu zonu nefte dobyvayushchikh skvazhin* [Improving the efficiency of the physical impact on the bottom zone of oil wells]. *Neftegazovoe delo* [Oil and Gas Business], 2005, no. 1.

14. Flinn G. *Fizika akusticheskoy kavitatsii v zhidkostyakh* [Physics of acoustic cavitation in liquids]. *Fizicheskaya akustika* [Physical Acoustics], Moscow, Mir Publ., 1967. 138 p.

15. Khalimov R. Kh. *Issledovanie i razrabotka tekhnologiy vosstanovleniya produktivnosti skvazhin, oslozhnennykh otlozheniyami asfal'tosmolistykh veshchestv* [Research and development of technology of restoration of well productivity, complicated asphalt tar deposits], Tyumen, 2004.

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАТНОЙ ЗАКАЧКИ ШЛАМА В ПЛАСТ КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД УТИЛИЗАЦИИ БУРОВЫХ ОТХОДОВ НА ШЕЛЬФЕ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

Середина Таисия Викторовна, инженер, филиал ООО «ВолгоградНИПИморнефть» «ЛУКОЙЛ-ИНЖИНИРИНГ», 414014, Российская Федерация, г. Астрахань, пр-т Губернатора Анатолия Гужвина, 12, e-mail: TSeredina@lukoilvmn.ru

Семисотова Ольга Сергеевна, ведущий инженер, филиал ООО "ВолгоградНИПИморнефть" "ЛУКОЙЛ-ИНЖИНИРИНГ", 414014, Российская Федерация, г. Астрахань, пр-т Губернатора Анатолия Гужвина, 12, e-mail: OSemisotova@lukoilvmn.ru

Штунь Елена Евгеньевна, инженер, филиал ООО "ВолгоградНИПИморнефть" "ЛУКОЙЛ-ИНЖИНИРИНГ", 414014, Российская Федерация, г. Астрахань, пр-т Губернатора Анатолия Гужвина, e-mail: EShtun@lukoilvmn.ru

В связи с активизацией геологоразведочных работ на шельфе Каспия, освоением и введением в эксплуатацию новых месторождений углеводородов, проблема переработки и утилизации отходов бурения сохраняет свою актуальность и требует внедрения наиболее экологически безопасных методов. Сегодня способ утилизации отходов посредством закачки пульпы в подходящий подземный пласт является предпочтительным методом утилизации отходов. В настоящее время при бурении скважин на шельфе Северного Каспия в основном используется буровой раствор «MEGADRIL» на углеводородной основе с применением минерального масла или дизельного топлива. Буровой шлам при использовании данного бурового раствора на углеводородной основе соответствует IV классу опасности (малоопасный отход), но утилизация его все равно необходима. В данной статье рассматривается один из наиболее надежных способов утилизации буровых отходов – закачка шлама в пласт, а также отработанных буровых растворов на нефтяной основе, остатков цементных растворов, жидкостей и буровых сточных вод. При использовании специальной скважины для отходов шлам закачивается под давлением в пласт по насосно-

компрессорным трубам или в перфорированную секцию, используемую для закачки шлама в определенных интервалах пласта. Для успешной операции закачки шлама в пласт необходима система, способная доставить необходимые объемы жидкости в выбранный пласт скважины с образованием гидроразрыва пласта, развивая при этом подходящее давление. Мониторинг и проверка рабочих характеристик обратной закачки шлама в пласт являются неотъемлемой частью процесса обеспечения эксплуатационного качества и безопасности проведения работ.

Ключевые слова: Северный Каспий, разработка месторождения, экология, охрана окружающей среды, буровые отходы, шлам, утилизация, шламопоглощающая скважина, углеводороды, нефть

TECHNOLOGY OF CUTTINGS RE-INJECTION INTO THE RESERVOIR AS ECOLOGICAL METHOD OF DISPOSAL DRILLING WASTES ON THE NORTH CASPIAN SHELF

Seredina Taisiya V., Engineer, Branch of "LUKOIL-INZhINIRING"
"VolgogradNIPImorneft", 12 Gubernator Anatoliy Guzhvin ave., Astrakhan, 414014,
Russian Federation, e-mail: TSeredina@lukoilmvn.ru

Semisotova Olga S., Head of group, Branch of "LUKOIL-INZhINIRING"
"VolgogradNIPImorneft", 12 Gubernator Anatoliy Guzhvin ave., Astrakhan, 414014,
Russian Federation, e-mail: OSemisotova@lukoilmvn.ru

Shtun Yelena Ye., Engineer, Branch of "LUKOIL-INZhINIRING"
"VolgogradNIPImorneft", 12 Gubernator Anatoliy Guzhvin ave., Astrakhan, 414014,
Russian Federation, e-mail: EShtun@lukoilmvn.ru

In connection with the intensification of exploration works on the Caspian shelf, development and commissioning of new deposits of hydrocarbons, the problem of processing and disposal of drilling wastes remains valid and requires the introduction of the most environmentally safe methods. Today, the method of disposal of waste through injection of the pulp into a suitable underground formation is the preferred method of waste disposal. Currently drilling wells on the North Caspian shelf mainly used drilling mud "MEGADRIL" oil based with mineral oil or diesel fuel. Drill cuttings when using this drilling mud on hydrocarbon basis corresponds to IV class of hazard (low hazard waste), but recycling it is still needed. This article discusses one of the most reliable methods of disposal of drilling waste – injection of slurry into the formation, as well as waste drilling mud, oil based cement residues, drilling fluids and wastewater. When using special wells for waste sludge is pumped under pressure into the formation through the tubing or a perforated section that is used for pumping of slurry at certain intervals of the stratum. For a successful operation of injection of the slurry into the formation requires a system capable of delivering the required volumes of fluid in the selected reservoir wells with formation fracturing, while developing a suitable pressure. Monitoring and performance verification cuttings re-injection into the reservoir are an integral part of the process for ensuring operational quality and security of the work.

Keywords: North Caspian, field development, ecology, environment, waste, sludge, disposal, wells for waste sludge, hydrocarbons, oil

Северная часть Каспийского моря, в которой располагаются нефтегазо-денсатные месторождения, объявлена заповедной зоной, в которой разрешается геологическое изучение, разведка и добыча углеводородного сырья с учетом специальных экологических и рыбохозяйственных требований [1, 4]. В связи с активизацией геологоразведочных работ на шельфе Каспия, освоением и введением в эксплуатацию новых месторождений углеводородов,

проблема переработки и утилизации отходов бурения сохраняет свою актуальность и требует внедрения наиболее экологически безопасных методов [7, 9].

Вплоть до 1980-х гг. вопросами утилизации бурового шлама и отработанных буровых растворов не уделялось должного внимания. Как правило, буровые отходы при морском бурении сбрасывались в море. В связи с развитием технологии наклонно-направленного бурения настала новая эпоха в строительстве скважин [14].

Сегодня способ утилизации отходов посредством закачки пульпы в подходящий подземный пласт является предпочтительным методом утилизации отходов для сотрудников регулирующих органов [3].

Впервые закачка бурового шлама была испытана в 1990 г. компанией «Бритиш Петролеум» на морских нефтедобывающих платформах Аляски. К настоящему времени технология обратной закачки широко применяется нефтедобывающими компаниями в таких регионах, как Канада, Аляска, Мексиканский залив, Северное море и Калифорния. Опробована она и российскими компаниями [10, 13].

В настоящее время при бурении скважин на шельфе Северного Каспия в основном используется буровой раствор «MEGADRIL» на углеводородной основе с применением минерального масла или дизельного топлива. При применении данного типа бурового раствора пласты в меньшей степени склонны к химическому диспергированию, такие ингибирующие свойства минимизируют растворение частиц выбуренной породы при их транспортировке от забоя на поверхность. Буровой шлам при использовании данного бурового раствора на углеводородной основе соответствует IV классу опасности (малоопасный отход), но утилизация его все равно необходима [2, 11].

Ранее наиболее распространенными способами утилизации отходов бурения являлись:

- сжигание нефти в амбарах;
- биохимическое разложение нефтеотходов;
- компостирование;
- утилизация шлама в специально отведенном месте (на свалках) [14].

Более поздние исследования выявили значительную токсичность нефтешламов, а также их высокую подвижность в подземных водах и почвах [5], что инициировало пересмотр применяемых способов утилизации буровых отходов. Современные технологии позволяют утилизировать шлам следующими способами (рис. 1) [11].



Рис. 1. Способы утилизации шлама

В данной статье рассматривается один из наиболее надежных способов утилизации буровых отходов – закачка шлама в пласт, а также отработанных буровых растворов на нефтяной основе, остатков цементных растворов, жидкостей и буровых сточных вод. В настоящее время данная технология применяется в странах Северной и Южной Америки и носит название «реинджекшен» [14].

В настоящее время наиболее часто применяют следующие способы закачки шлама в пласт:

- кольцевая закачка (Annular injection);
- использование специальных скважин для промысловых отходов (Disposal well injection).

Кольцевая закачка предусматривает закачку шлама в пласт через пространство между обсадными трубами в скважинах.

При использовании специальной скважины для отходов шлам закачивается под давлением в пласт по насосно-компрессорным трубам или в перфорированную секцию, используемую для закачки шлама в определенных интервалах пласта [3]. Схема обратной закачки в пласт шлама показана на рисунке 2.

Для успешной операции закачки шлама в пласт необходима система, способная доставить необходимые объемы жидкости в выбранный пласт скважины с образованием гидроразрыва пласта (ГРП), развивая при этом подходящее давление [6]. В целом, система закачки шлама в пласт состоит из трех основных компонентов:

- 1) системы для приготовления пульпы;
- 2) системы доставки шлама;
- 3) установки по закачке шлама в пласт.

Определение литологической пригодности пластов для закачки шлама основано на геологическом изучении разреза, расчете основных геомеханических свойств пластов и характеризуется следующими параметрами:

- 1) толщина пласта, достаточная для обеспечения требуемой емкости закачки;
- 2) расположение емкости для закачки на достаточном расстоянии от продуктивных и пресноводных горизонтов;
- 3) наличие барьеров сверху и снизу зоны для ограничения вертикального роста трещины.

Глубина расположения верхней зоны должна гарантировать надежную изоляцию отходов, исключая прорыв трещины на поверхность морского дна.

Для анализа соответствия пласта указанным требованиям проводится трехмерное моделирование гидроразрыва пласта для проверки пригодности скважины к проведению операций по закачке шлама в пласт.

Для проведения данных исследований и уточнения режимов нагнетания используется пульпа – агент, соответствующий специальному набору критериев. Для получения пульпы с требуемым содержанием твердой фазы по объему (20 %) влажный шлам смешивается с жидкостью в соотношении приблизительно равном 1:1. При этом в качестве жидкости может использоваться отработанный буровой раствор.

Получение правильной композиции пульпы является одной из главных задач во время работ по закачке шлама в пласт.

Одним из наиболее важных факторов, которые учитываются при моделировании закачки шлама, является напряжение в пласте и в барьерах, от которого зависит длина, ширина и высота трещины, характер и направление ее роста. Минимальное горизонтальное напряжение должно иметь значение, близ-

кое к горному давлению, чтобы после закачки некоторого объема отходов произошла переориентация трещины в горизонтальную плоскость без образования вертикальной трещины.

В рамках моделирования процесса закачки проводится вероятностная оценка размеров и емкости трещины и их корреляция с емкостью выбранных объектов закачки.

Расстояние до ближайшей скважины закачки, разлома или другого геологического осложнения должно быть рассчитано в соответствии с принятым коэффициентом безопасности.

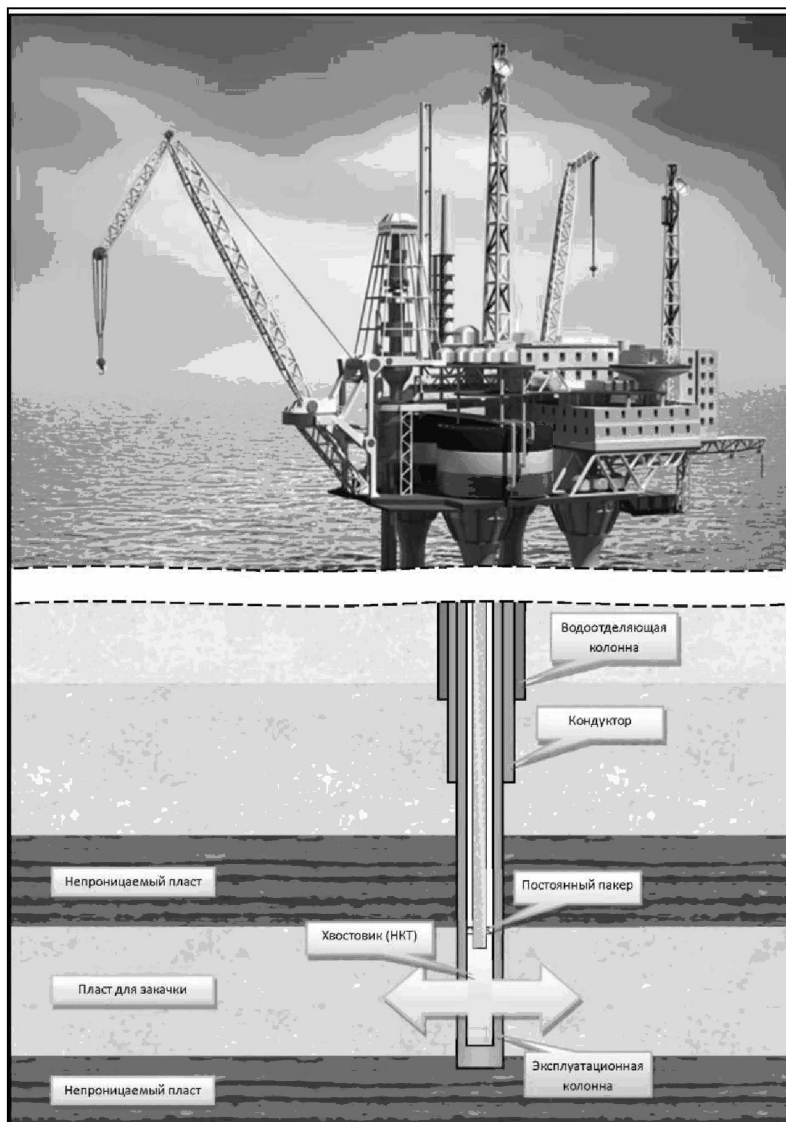


Рис. 2. Схема обратной закачки шлама в пласт

Большое значение при моделировании процесса закачки имеет оценка минимальной, максимальной и рекомендуемой скоростей закачки бурового шлама в пласт. Оценка минимальной скорости необходима во избежание возможного закупоривания ствола скважины или трещины. Максимальная

скорость закачки определяется исходя из технологических ограничений используемого оборудования, максимально допустимой эрозии оборудования устья скважины, обсадной колонны, НКТ и из соображений целостности скважины. Рекомендуемая скорость закачки определяется после оценки всех перечисленных факторов.

Мониторинг и проверка рабочих характеристик обратной закачки шлама в пласт являются неотъемлемой частью процесса обеспечения эксплуатационного качества и безопасности проведения работ. Постоянный мониторинг необходим для предотвращения неконтролируемого роста трещины в высоту и пересечения трещины с тектоническими нарушениями и соседними скважинами. Мониторинг давления в процессе закачки и во время остановок, наряду со скоростью закачки и свойствами пульпы, являются ключевыми составляющими долгосрочной надежности операций закачки.

Выявление риска на ранних стадиях позволяет правильно спланировать возможные способы снижения данного риска, что сведет к минимуму временные потери и понесенные затраты [12, 15].

В целом можно сказать, что закачка буровых отходов в пласт является крайне перспективной технологией ликвидации отходов бурения при добыче нефти и газа, но в связи с рядом ограничений большинство добывающих компаний делают выбор в пользу более доступных или экономичных методов утилизации отходов бурения [8].

Список литературы

1. Байрашевский И. В. Обеспечение экологической безопасности бурения скважин на море / И. В. Байрашевский, А. А. Марков // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8–2.
2. Безродный Ю. Г. Экологическая безопасность, охрана окружающей среды и мониторинг при проведении ОАО «ЛУКОЙЛ» поисково-разведочных работ на нефть и газ в Северном Каспии / Ю. Г. Безродный, Д. Н. Катунин, А. А. Курапов, С. К. Монахов, В. И. Ревякин, В. А. Чаленко // Оценка воздействия на окружающую среду предприятий нефтегазового комплекса : материалы к научно-технической конференции. – Москва : Научный Мир, 2002. – 35 с.
3. Блос Д. Закачка шлама в пласт: с глаз долой, с баланса вон / Д. Блос // Нефтегазовая вертикаль. – 2008. – № 2.
4. Воробьев Ю. Л. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. – Москва : Институт Октаво, 2005. – 368 с.
5. Гиматулинов Ш. К. Физика нефтяного и газового пласта / Ш. К. Гиматулинов, А. М. Ширковский. – Москва : Недра, 1981.
6. Гихэн Т. На острие проблемы утилизации буровых отходов / Т. Гихэн, А. Гилмор, Гуань Го // Нефтегазовое обозрение. – Зима 2006–2007. – Т. 18, № 4.
7. Иванова М. М. Нефтегазопромысловая геология: Учеб. для вузов / М. М. Иванова, И. П. Чоловский, Ю. И. Брагин. – Москва : ООО "Недра-Бизнесцентр", 2000. – 414 с.
8. Крецул В. В. Мировой опыт экологичного решения задач при бурении и добыче на континентальном шельфе России / В. В. Крецул // MI SWACO. – Режим доступа: http://www.gpi-inc.ru/materials/30/656hbj55/Session_3/Kretsul.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
9. Курапов А. А. Основы, итоги и перспектива развития системы экологической безопасности ОАО «ЛУКОЙЛ» при освоении месторождений углеводородного сырья в северной части Каспийского моря / А. А. Курапов, Д. Н. Катунин, В. И. Ревякин, Н. В. Попова, В. А. Чаленко, С. К. Монахов // Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений : материалы первой международной научно-практической конференции. – Астрахань : Каспийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, 2005. – 120 с.
10. Масловец Е. Б. Применение технологии обратной закачки с целью утилизации буровых отходов / Е. Б. Масловец, А. А. Даныпин // ООО «Тайм юнит». – Москва, 2015. – Режим доступа: <http://www.timeunit.ru/company/publications/231/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

11. Меденцев А. В. Растворы на углеводородной основе: решение технологических и геологических задач / А. В. Меденцев. – Москва : М-И SWACO, A Schlumberger Company, 2010. – 14 с.
12. Монахов С. К. Экологический мониторинг Каспийского моря / С. К. Монахов. – Астрахань : ООО «Научно-исследовательский институт экологии южных морей», 2012. – 190 с.
13. Фрагачан Ф. Метод утилизации буровых отходов без загрязнения окружающей среды – закачка в пласт / Ф. Фрагачан, А. Овалте, Т. Шоканов, А. Стэйлз // Нефть и газ. – 2006.
14. Чепрасов А. В. Структурная анизотропия нефтегазовых месторождений и утилизация бурового шлама / А. В. Чепрасов, А. Трегуб // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2009. – № 2.
15. Экологические технологии // Норвежский нефтяной директорат. – Режим доступа: http://www.npd.no/Global/Norsk/3-Publikasjoner/Rapporter/Miljøteknologi/Nordsjo-Miljøteknologirapport_2011-rus1.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

References

1. Bayrashevskiy I. V., Markov A. A. Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti bureniya skvazhin na more [Ensuring environmental safety of drilling offshore wells]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern high technologies], 2013, no. 8–2.
2. Bezrodnyy Yu. G., Katunin D. N., Kurapov A. A., Monakhov S. K., Revyakin V. I., Chalenko V. A. Ekologicheskaya bezopasnost, okhrana okruzhayushchey sredy i monitoring pri provedenii OAO «LUKOYL» poiskovo-razvedochnykh rabot na nef't i gaz v Severnom Kaspii [Ecological safety, environmental protection and monitoring in the conduct of "LUKOIL" of exploration for oil and gas in the North Caspian Sea]. *Otsenka vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu predpriyatiy neftegazovogo kompleksa : materialy k nauchno-tekhmicheskoy konferentsii* [Assessing of the Environmental Impact of Oil and Gas Companies. Proceedings of the Scientific Conference], Moscow, nauchnyy Mir Publ., 2002. 35 p.
3. Blyus D. Zakachka shlama v plast: s glaz doloy, s balansa von [Injection of slurry into the reservoir: out of sight, out of balance]. *Neftegazovaya vertical* [Oil and Gas Vertical], 2008, no. 2.
4. Vorobev Yu. L., Akimov V. A., Sokolov Yu. I. *Preduprezhdenie i likvidatsiya avariynykh razlivov nef'ti i nefteproduktov* [Prevention and liquidation of emergency floods of oil and oil products], Moscow, Institute Octavo Publ. House, 2005. 368 p.
5. Gimatudinov Sh. K., Shirkovskiy A. M. *Fizika nef'tyanogo i gazovogo plasta* [Physics of oil and gas reservoir], Moscow, Nedra Publ., 1981.
6. Gilhan T., Gilmore A., Guan Guo Na ostrie problemy utilizatsii burovyykh otkhodov [At the forefront of the problem of disposing of drilling waste]. *Neftegazovoe obozrenie* [Oil and Gas Review], Winter 2006–2007, vol. 18, no. 4.
7. Ivanova M. M., Cholovskiy I. P., Bragin Yu. I. *Neftegazopromyslovaya geologiya* [Petroleum Geology], Moscow, ООО "Nedra-business Center" Publ., 2000. 414 p.
8. Kretsul V. V. Mirovoy opyt ekologichnogo resheniya zadach pri burenii i dobyche na kontinentalnom shelfe Rossii [The international experience of environmentally friendly challenges in drilling and production on the continental shelf of Russia]. *MI SWACO*. Available at: http://www.rpi-inc.ru/materials/30/656hbj55/Session_3/Kretsul.pdf.
9. Kurapov A. A., Katunin D. N., Revyakin V. I., Popova N. V., Chalenko V. A., Monakhov S. K. Osnovy, itogi i perspektiva razvitiya sistemy ekologicheskoy bezopasnosti OAO «LUKOYL» pri osvoenii mestorozhdeniy uglevodorodnogo syrya v severnoy chasti Kaspiyskogo morya [Fundamentals, results and prospects of development of system of ecological safety of "LUKOIL" in the development of hydrocarbon deposits in the Northern part of the Caspian Sea]. *Problemy sokhraneniya ekosistemy Kaspiya v usloviyakh osvoeniya neftegazovykh mestorozhdeniy : materialy pervoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Problems of Preservation of the Ecosystem of the Caspian Sea in the Conditions of Development of Oil Fields. Proceedings of the First International Scientific and Practical Conference], Astrakhan, Caspian Fisheries Research Institute Publ. House, 2005. 120 p.
10. Maslovets Ye. B., Danshin A. A. Primenenie tekhnologii obratnoy zakachki s tselyu utilizatsii burovyykh otkhodov [Using of re-injection technologies for disposal of drilling waste]. *ООО «Тайм юнит»* [Ltd "Time unit"], Moscow, 2015. Available at: <http://www.timeunit.ru/company/publications/231/>.
11. Medentsev A. V. Rastvory na uglevodorodnoy osnove: reshenie tekhnologicheskikh i geologicheskikh zadach [Hydrocarbon based Muds: the solution of technological and geological problems], Moscow, М-И SWACO, A Schlumberger Company Publ., 2010. 14 p.

12. Monakhov S. K. *Ekologicheskiy monitoring Kaspiyskogo moray* [Ecological monitoring of the Caspian sea], Astrakhan, Ltd "Scientific and Research Institute of Ecology of the Southern Seas" Publ. House, 2012. 190 p.

13. Fragachan F., Ovalle A., Shokanov T., Staples A. Metod utilizatsii burovyykh otkhodov bez zagryazneniya okruzhayushchey sredy – zakachka v plast [Method of drilling waste utilization without pollution – injected into the reservoir]. *Neft i gaz* [Oil and Gas], 2006.

14. Cheprasov V. A., Tregub A. Strukturnaya anizotropiya neftegazovykh mestorozhdeniy i utilizatsiya burovogo shlama [Structural anisotropy of oil and gas deposits and utilization of drilling waste]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya* [Proceedings of the Voronezh State University. Series: Geology], 2009, no. 2.

15. Ekologicheskie tekhnologii [Environmental technologies]. *Norvezhskiy neftyanoy direktorat* [The Norwegian Oil Directorate]. Available at: http://www.npd.no/Global/Norsk/3-Publikasjoner/Rapporter/Miljøteknologi/Nordsjo-Miljøteknologirapport_2011-rus1.pdf.