

УДК 628.16.065.2

DOI: [10.46698/VNC.2020.22.93.010](https://doi.org/10.46698/VNC.2020.22.93.010)

Оригинальная статья

Применение технологии магнитно-реагентного осветления питьевой воды для интенсификации процессов водоподготовки

И.А. Голубев¹, И.К. Супрун²

¹Научно-технологический комплекс «Новые технологии и материалы» Национальный исследовательский университет ФГАОУ ВО «СПбПУ» кафедра геоэкологии, Россия, 195220, г. Санкт-Петербург, Политехническая улица, д. 29, к. 11;

²Санкт-Петербургский горный университет, Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2, e-mail: www.igor_suprun@mail.ru

Статья поступила: 06.03.2020, доработана: 23.04.2020, одобрена в печать: 30.04.2020

Резюме: Актуальность работы. Одной из актуальных задач, связанных с улучшением здоровья населения, является возможность потребления воды, по показателям качества, соответствующей нормативам на питьевую воду. Вместе с тем, по данным ВОЗ только 1% воды из источников питьевого и рыбохозяйственного назначения на Земле пригоден для использования без предварительной подготовки. Во всех остальных случаях очистка воды, включающая её обеззараживание, просто необходима. В зависимости от физико-химического состава воды и её микробиологических загрязнений выбирается та или иная технология водоподготовки. **Цель работы.** В этой связи, на объектах водоподготовки всё более необходимым является включение в технологическую схему новых инновационных решений, которые не предусматривают полную реконструкцию существующих систем, а позволяют эффективно модернизировать уже имеющиеся. Одним из наиболее перспективных решений в этом направлении могло бы явиться применение методов обработки воды магнитно-реагентным способом. **Методы исследования.** Предложена технология магнитно-реагентной обработки воды, позволяющая интенсифицировать этап реагентного осветления, без существенных затрат на реконструкцию объекта. Опытные испытания на станции водоподготовки позволили установить, что магнитная обработка увеличивает скорость коагуляции взвесей, снижает требуемое время пребывания воды в осветлителе, сокращает расход реагентов на 25-30%. **Результаты работы.** В статье рассмотрена основная проблема классической системы водоподготовки, связанная с большим расходом реагентов и необходимостью систематического подбора оптимальной дозировки под изменяющиеся параметры среды. Показано, что предлагаемая технология может рассматриваться как в качестве модернизации существующих станций водоподготовки работающих по типовой схеме, так и при проектировании новых объектов. Вне зависимости от сложности применяемых для очистки поверхностных вод технологий в начальной стадии очистки, как правило, используется метод отстаивания, осуществляемый путем введения в воду коагулирующих реагентов для формирования флокул, в которые входят извлекаемые из воды загрязнения. Несмотря на высокую эффективность, применение данного метода сопряжено, как с расходом дорогостоящих реагентов, так и с необходимостью осуществления постоянного контроля за их дозировками, что объясняется непрерывными изменениями показателей качества поверхностных вод по сезонам года.

Ключевые слова: очистка воды, магнитная обработка, реагентное осветление, сокращение расхода реагентов, водоподготовка.

Для цитирования: Голубев И.А., Супрун И.К. Применение технологии магнитно-реагентного осветления питьевой воды для интенсификации процессов водоподготовки. *Геология и Геофизика Юга России*. 2020. 10(2): 136-146. DOI: [10.46698/VNC.2020.22.93.010](https://doi.org/10.46698/VNC.2020.22.93.010).

GEOECOLOGY

DOI: [10.46698/VNC.2020.22.93.010](https://doi.org/10.46698/VNC.2020.22.93.010)

Original paper

The use of magnetic reagent clarification of drinking water to intensify water treatment processes

I.A. Golubev ¹, I.K. Suprun ²

¹Scientific and technological complex “New technologies and materials” National Research University FGAOU VO “SPbPU”, 29, к. 11, Polytechnic str., St Petersburg 195220, Russian Federation;

²St. Petersburg Mining University, 2, 21st Line, St Petersburg 199106, Russian Federation, e-mail: www.igor_suprun@mail.ru

Received: 06.03.2020, revised: 23.04.2020, accepted: 30.04.2020

Abstract: Relevance. One of the urgent tasks associated with improving public health is the possibility of water consumption, in terms of quality, consistent with drinking water standards. At the same time, according to WHO, only 1% of water from drinking and fishery sources on Earth is suitable for use without prior preparation. In all other cases, water treatment, including its disinfection, is simply necessary. Depending on the physicochemical composition of the water and its microbiological contaminants, one or another water treatment technology is selected. **Aim.** In this regard, at water treatment facilities, it is increasingly necessary to include new innovative solutions in the technological scheme that do not provide for the complete reconstruction of existing systems, but allow for the effective modernization of existing ones. One of the most promising solutions in this direction could be the use of methods for treating water with a magnetic reagent method. **Methods.** The technology of magnetic reagent water treatment is proposed, which allows to intensify the reagent clarification stage, without significant costs for the reconstruction of the facility. Experimental tests at the water treatment station made it possible to establish that magnetic treatment increases the coagulation rate of suspensions, reduces the required residence time of water in the clarifier, and reduces the consumption of reagents by 25-30%. **Results.** The article considers the main problem of the classical water treatment system associated with a high consumption of reagents and the need for a systematic selection of the optimal dosage for changing environmental parameters. It is shown that the proposed technology can be considered both as a modernization of existing water treatment plants operating according to the standard scheme, and when designing new facilities. Regardless of the complexity of the technologies used for surface water purification in the initial stage of purification, as a rule, the settling method is used, which is carried out by introducing coagulating reagents into the water to form flocs that include contaminants extracted from water. Despite its high efficiency, the use of this method involves both the consumption of expensive reagents and the need to constantly monitor their dosages, which is explained by continuous changes in surface water quality indicators over the seasons of the year.

Keywords: water treatment, magnetic treatment, reagent clarification, reduction of reagent consumption, water treatment.

For citation: Golubev I.A., Suprun I.K. The use of magnetic reagent clarification of drinking water to intensify water treatment processes. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. 2020. 10(2): 136-146. (In Russ.) DOI: [10.46698/VNC.2020.22.93.010](https://doi.org/10.46698/VNC.2020.22.93.010).

Введение

Попытки магнитной обработки водных систем для придания им новых свойств предпринимались во многих отраслях промышленности, медицине, сельском хо-

зайстве [Возная, 1979]. Причем результаты использования, представленные в отечественной и зарубежной научно-технической литературе, и патентной информации во многом противоречивы. Этим объясняется ограниченное и осторожное применение аппаратов магнитной обработки (МО).

Актуальность

Большой объем научно-исследовательских работ, проведенных в Новочеркасском политехническом институте, Московском энергетическом институте, Азербайджанском государственном научно-исследовательском и проектно-институте нефти, Уфимском государственном нефтяном техническом университете (УГНТУ) и других организациях [Тебенихин, 1977; Классен, 1978; Инюшин и др., 2000], позволил создать теоретические предпосылки и начать широкое применение магнитной обработки на объектах теплоэнергетики – для снижения накипеобразования, в строительстве – для получения улучшенных характеристик материалов, в медицине – для снижения послеоперационных осложнений, в нефтяной промышленности – для разрушения водонефтяных эмульсий [Иванов, 1956].

Несмотря на убедительные достижения в области магнитной обработки промысловых сред [Лесин, 2003; Мирзаджанзаде и др. 1997], существуют проблемы, связанные с невысокой повторяемостью удовлетворительных результатов на практике.

В силу специфики нефтепромыслового оборудования наибольшее распространение получили аппараты с постоянными магнитами, легко-монтажные и не требующие специальной подготовки обслуживающего персонала [Лаптев и др., 2015]. Но низкая эффективность таких аппаратов, обусловленная малой напряженностью МП, не позволила применять их для широкого круга задач. Другой тип используемых аппаратов – электромагнитные установки, имеет принципиально другое исполнение, однако схожие с аппаратами на постоянных магнитах проблемы: низкая напряженность магнитного поля [Chibowski et al., 2003].

Цель

Предлагаемая нами установка относится ко второму типу аппаратов МО, однако работает в принципиально другом режиме – импульсном. Такой вид аппарата позволяет создавать магнитное поле высокой напряженности, оказывающее максимальное воздействие на обрабатываемую среду [Frenkel et al., 2018; Ghauri, Ansari, 2006; Jha et al., 2017]. Импульсная магнитная установка (ИМУ) состоит из генератора токов низкой частоты и соединенного с ним посредством кабеля соленоида, монтируемого фланцевым соединением на участок трубопровода. Установка позволяет подвергать проходящую через соленоид жидкость воздействию сильным (400 кА/м) низкочастотным импульсным магнитным полем (<50 Гц).

Методы исследования

Очистка нефтезагрязненных сточных вод

Наиболее широко распространенными загрязнителями сточных вод предприятий топливно-энергетического комплекса (ТЭК) являются нефтепродукты – неидентифицированная группа углеводородов нефти, мазута, керосина, масел и их примесей, которые вследствие их высокой токсичности, принадлежат, согласно данным ЮНЕСКО, к числу десяти наиболее опасных загрязнителей окружающей

среды. В сбрасываемых сточных водах предприятий ТЭК наблюдаются, в ряде случаев, тысячекратные превышения нормативов [Coeu, 2012; Kitazawa, 2001].

Основными источниками загрязнения нефтью и нефтепродуктами являются предприятия по добыче нефти и твердых полезных ископаемых. Как правило, очистные сооружения предприятий ТЭК не справляются со значительными объемами нефтезагрязненных сточных вод, что приводит при их сбросе к загрязнению поверхностных и подземных вод. Анализ деятельности предприятий показал, что в настоящее время более 50% сточных вод, сбрасываются недоочищенными.

В нефтедобывающей промышленности, при организации разработки методом закачки воды в пласт с целью поддержания пластового давления, в связи с постоянным ростом обводненности добываемой продукции существующее оборудование подготовки не справляется с такими объемами подтоварной воды, что влечет за собой закачку неподготовленной воды в пласт.

При использовании для заводнения продуктивных пластов подтоварных вод с высоким остаточным содержанием нефтепродуктов происходит ощутимое снижение приемистости скважины (вплоть до полного прекращения закачки). Это чаще всего нефть со значительным содержанием АСПО, диспергированных в водной фазе. Остаточная нефть, проникая в более крупные капиллярные каналы ПЗП, постепенно коалесцируя и накапливаясь, может существенно снизить приемистость скважины.

В этой связи, самой актуальной проблемой является повышение качества очистки сточных вод на уже имеющихся установках. Поскольку говорить о полной или частичной реконструкции, как правило, не представляется возможным из-за экономической неэффективности предлагаемого метода решения, организации ведут поиск по внедрению дешевого и эффективного способа модернизации уже имеющихся очистных сооружений. Одной из наиболее перспективных технологий интенсификации процессов водоподготовки является технология обработки водо-нефтяных сред магнитным полем.

При обработке импульсным магнитным полем водо-нефтяных систем наблюдается рост динамики седиментации (расслоения в/н эмульсий), объясняющийся тем, что МП воздействует на бронирующие глобулы нефтепродукта включающего ферромагнетики (оксиды железа) и парамагнетики (АСПО). Молекулы этих веществ легко ориентируются в магнитном поле, происходит их коагуляция в результате магнитного взаимодействия [Рахимов и др., 2012; Лаптев и др., 2000]. Ориентация этих частиц (втягивание, притяжение) определяется градиентом напряженности магнитного поля (изменение магнитного поля во времени). Именно по этому параметру импульсная магнитная установка превосходит всех прямых конкурентов и показывает наилучший эффект от воздействия.

Эффективность магнитной обработки нефтезагрязненной воды была подтверждена экспериментально. В ходе исследований оценивалось качество сепарированной воды при различных вариантах ее обработки фотометрическим методом. Метод основан на извлечении (экстрагировании) нефти из воды органическим растворителем (хлороформом), который растворяет нефть, но сам практически не растворяется в воде. Растворившаяся в хлороформе нефть окрашивает его. Интенсивность окраски пропорциональна концентрации нефти. Погрешность метода $\pm 1\%$.

В качестве среды испытания использовалась сепарированная попутнодобываемая вода со следующими параметрами (табл. 1).

Таблица 1. / Table 1.

**Основные параметры исследуемой воды /
Main parameters of the investigated water**

№	Свойства / Features	Единица измерения / Unit of measurement	Величина / Value
1.	Плотность воды в стандартных условиях. / Density of water under standard conditions.	кг/м ³ / kg/m ³	1007,00
2.	Общая минерализация. / Total mineralization.	г/дм ³ / g/dm ³	12010,70
3.	рН	ед. рН / pH unit	7,6
4.	Температура. / Temperature.	°С	20
5.	Содержание остаточных нефтепродуктов в воде. / Residual oil content in water	мг/л / mg/l	58–60

В ходе исследований испытывались следующие варианты обработки воды (табл. 2):

1. Магнитная обработка нефтезагрязненных сточных вод приводит к ускорению процесса естественного разделения в/н эмульсии после обработки при отстое;
2. Остаточное содержание нефтепродуктов в исходной пробе воды – 58 мг/дм³;
3. Использование гидрофобного фильтра снижает остаточное содержание нефтепродуктов до ~ 30 мг/л;
4. Обработка воды магнитным полем снижает остаточное содержание нефтепродуктов до ~ 16 мг/л;
5. Комплексное применение обработки электромагнитным полем частотой 22 Гц и гидрофобного фильтра приводит к увеличению эффективности очистки воды от нефтепродуктов, проявляется синергетический эффект – совместное действие превосходит эффект от применения обработки магнитным полем или гидрофобного фильтра отдельно.
6. Возможно снижение остаточного содержания нефтепродуктов в воде до ~ 5 мг/л.

Таблица 2 / Table 2

Результаты лабораторных испытаний / Laboratory test results

Обр. №. / Sample Number	Обработка. / Processing	Концентрация, мг/л. / Concentration, mg/l
1	<i>ФОН (ХОЛ)</i> / FON (HOL)	57,7
2	<i>ГФФ</i> / GFF	30,2
3	<i>МП</i> / MP	16,3
4	<i>МП+ГФФ</i> / MP+GFF	5,1

- *ФОН* (Холостая проба – проба воды без обработки магнитным полем и без фильтра) / FON (blank sample – water sample without magnetic field treatment and without filter);

- *ГФФ* (Проба воды пропущена через гидрофобный фильтр) / GFF. (Water sample passed through a hydrophobic filter);

- *МП* (Проба воды, обработана магнитным полем, и без фильтра) / *MP* (Water sample, magnetic field treated, and without filter);

- *МП + ГФФ* (Проба воды, обработанная магнитным полем и пропущена через гидрофобный фильтр) / *MP+GFF* (Water sample after magnetic field treatment and passed through a hydrophobic filter).

Очистка воды питьевого назначения

Большинство эксплуатируемых сегодня станций водоподготовки используют классическую систему реагентного осветления, разработанную в 60-х годах XX века. В воду, подлежащую очистке вводят коагулянты, способствующие связыванию частиц, обуславливающих цветность и мутность, в хлопья, что ускоряет их выпадение в отстойниках. Для более глубокого осветления воду после отстойников направляют на фильтры, для задержания остаточных взвешенных веществ в фильтрующем слое. Попутно с осветлением воды при коагулировании и фильтрации происходит в значительной степени освобождение ее от бактерий, благодаря чему повышается ее качество с санитарной точки зрения.

Несмотря на высокую эффективность, применение данного метода сопряжено, как с расходом дорогостоящих реагентов, так и с необходимостью осуществления постоянного контроля за их дозировками, что объясняется непрерывными изменениями показателей качества поверхностных вод по сезонам года.

В этой связи, на объектах водоподготовки всё более необходимым является включение в технологическую схему новых инновационных решений, которые не предусматривают полную реконструкцию существующих систем, а позволяют эффективно модернизировать уже имеющиеся. Одним из наиболее перспективных решений в этом направлении является применение методов обработки воды магнитно-реагентным способом.

Как показали результаты многочисленных исследований, выполненных в лабораторных и опытно-промышленных условиях [Cefalas et al., 2008; Chang, Weng, 2006; Holysz et al., 2003; Krems, 2004], магнитное поле позволяет снизить расход реагентов, включающих ингибиторы коррозии, депарафинизаторы и деэмульгаторы.

Поскольку механизм действия реагентов, применяемых в нефтяной промышленности и в практике водоподготовки, принципиально схожи между собой, было выдвинуто предположение что, магнитное поле способно оказывать положительный эффект и при очистке питьевых вод на этапе коагуляции.

Именно с этой целью было осуществлено исследование эффективности использования технологии магнитно-реагентной обработки воды в процессе её очистки на станции водоподготовки, расположенной в деревне Лесколово Всеволожского района (Ленинградская обл.), направленное на изучение изменения динамики осветления воды, предварительно обработанной реагентами для коагулирования, в присутствии магнитного поля и без него.

Водоподготовка на данном объекте осуществляется по классической схеме двухступенчатой очистки с реагентной обработкой: вода подается насосами станции первого подъема из источника – озеро Лемболовское, затем по водоводам на смеситель водоочистных сооружений. В смеситель поэтапно вводятся реагенты (аналит для обеззараживания, коагулянт, флокулянт и сода) для осветления воды. Из смесителя вода поступает в осветлители с взвешенным осадком, где происходит формирование хлопьев, с последующим выделением их основной части из воды осажением, после чего частично осветленная вода направляется на скорые филь-

тры, для конечной очистки. Обеззараживание воды осуществляется методом её хлорирования.

В рамках проводимых исследований пилотная установка ИМУ-2 монтировалась перед гребенкой из шести параллельно работающих осветлителей на участке подачи воды из смесителя (рис. 1), позволяя тем самым подвергать магнитной обработке весь поток воды, прошедшей стадию реагентной очистки.

При этом эффективность магнитной обработки оценивалась путем поэтапного изменения технологических параметров водоподготовки, а именно за счет снижения количества одновременно работающих осветлителей (на ВОС их шесть штук) и уменьшения расхода реагентов.

На протяжении всех экспериментов осуществлялся непрерывный контроль за показателями качества воды (цветность, мутность, остаточный алюминий) на выходе с осветлителей после включения магнитной установки. В качестве сравнения использовали показатели эффективности водоподготовки ВОС в аналогичные сезонные периоды по предыдущим годам, когда магнитная обработка не применялась.



*Рис. 1. Установка «ИМУ-2». /
Fig. 1. Installation of «IMU-2».*

Полученные результаты и их обсуждение

Ход испытаний:

1. Сбор статистических данных по работе объекта до внедрения магнитной установки.

2. Старт испытаний февраль 2019-го года.

Поэтапное снижение количества работающих осветлителей с 6-и до 2-х, за счет увеличения подачи воды на оставшиеся аппараты. Однако, поскольку производительности объекта в этом случае не хватало для обеспечения поселка водой - расход подняли, увеличив кол-во осветлителей до 4-х.

Вынужденное снижение производительности объекта на 10% от стандартного режима вызвано гидродинамическими ограничениями работы осветлителей (разрушения слоя взвешенного осадка возросшим напором воды), а не пропускной способностью магнитной установки.

Результаты испытаний приведены в таблице 3.

Выводы (Заключение)

Опытные испытания позволили установить, что предложенная установка магнитной обработки позволяет обеспечить одинаково высокую эффективность очистки воды в различные сезоны года независимо от качества воды в источнике питьевого водоснабжения озера Лемболовское.

Проведенные исследования позволили получить следующие практические результаты:

Таблица 3 / Table 3

Сравнительные данные по качеству воды на объекте Лесколово по годамдо и после внедрения магнитного аппарата ИМУ / Comparative data on water quality at the Leskolovo facility over the years before and after the introduction of the IMU magnetic apparatus

Даты / Dates	Период / Period	Исходная вода / Source water		№	Qв, м³/сут sub. m/day	Расход реагентов, л/ч / Reagent consumption, l/h		Вода после осветлителей / water after clarifiers	
		Цветность / Chromaticity	Мутность / Feculence			Коагулянт / Coagulant	Щелочь / Alkali	Цветность / Chromaticity	Мутность / Feculence
Февраль 2017 / February 2017	Март 2017 / March 2017	280-320	1,5-1,7	6	1000	4,3-4,7	35-40	16-21	0,6-0,7
		317-340	2,2-3,5	6	1000	3,7-4,2	25-30	17-20	0,6-0,7
Апрель 2017 / April 2017	Начало месяца / Beginning of the month	330	8-14	6	1000	2,8-3,7	20-25	18-20	0,6-0,7
	Конец месяца* / End of the month	180-140	1,7-1,9	6	1000	1,8-2,4	20	18-20	0,6-0,7
Февраль 2018 / February 2018	Март 2018 / March 2018	200	0,7-0,9	6	1000	3,6-4,2	40	13-15	0,6-0,7
		220-230	0,9-1	6	1000	3,3-3,7	35-40	18-20	0,6-0,7
Апрель 2018 / April 2018	Начало месяца / Beginning of the month	230-260	1,2-3	6	1000	3,1-3,4	20	16-15	0,6-0,7
	Конец месяца / End of the month	140-120	2,5-3	6	1000	1,9-2,4	40	17-18	0,6-0,7
Февраль 2019 / February 2019	Март 2019 / March 2019	160-180	1,5	2	900	3,1-2,5	15	17-20	0,6-0,7
		230-260	1,5-2	4	1000	2,4-2,7	10	15-20	0,6-0,7
Апрель 2019 / April 2019	Апрель 2019 / April 2019	230-240	2-2,3	4	1000	2,6-2,9	10	15-20	0,6-0,7

N – количество параллельно работающих осветлителей / quantity of parallelly working clarifiers;

Qв – производительность водоканала / yield capacity of water utility;

* - во второй половине апреля начинается сезонное изменение качества исходной воды, связанное с таянием льдов / in the second half of April begins a seasonal change in the quality of the source water, associated with melting ice.

- сократить время очистки воды и удаления осадка, а также количество необходимых промывок емкостей для осветления воды почти в два раза;
- увеличить скорость (примерно в два раза) коагуляции взвесей и выпадения осадка в «плотный хлопок»;
- сократить расход реагентов (в сравнении с ранее аналогичными периодами, когда магнитная обработка не применялась): коагулянта в среднем на 25–30%, щелочи на 50–60%;
- стабилизировать качество воды, подаваемой в водопроводную сеть д. Лесково независимо от сезонного качества исходной воды источника.

Предлагаемая технология предварительной подготовки смеси воды и коагулянта с использованием аппарата магнитной обработки жидкости позволяет применять ее, как для модернизации станций водоподготовки, работающих по типовой схеме, так и при проектировании вновь строящихся объектов.

Литература

1. Возная Н.Ф. Химия воды и микробиология. – М.: Высшая школа. – Издание 2-е. – 1979. – 140 с.
2. Иванов Т.Ф. Разрушение водонефтяных эмульсий в неоднородном магнитном поле. // Т.Ф. Иванов. // Журнал физической химии. – Т. 30. Вып. 11. – 1956. – С. 2593–2595.
3. Инюшин Н.В., Каштанова Л.Е., Мугтабаров Ф.К. Магнитная обработка промышленных жидкостей. – Уфа: Гос. издат. науч.-техн. литературы «Реактив», 2000. – 178 с.
4. Классен В.И. Омагничивание водных систем. – М.: Химия, 1978. – 240 с.
5. Лаптев А.Б., Шайдаков В.В., Максимочкин В.И., Хасанов Н.А. Разработка установок для магнитной обработки нефтяных шламов. // Материалы второй Всероссийской Научно-практической конференции: «Отходы - 2000». - Уфа. – 2000. – С. 157-158.
6. Лаптев А.Б., Рахимов С.Р., Латыпов О.Р., Тюсенков А.С., Ахияров Р.Ж., Бугай Д.Е. Электрохимический метод разделения водонефтяных эмульсий – Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – № 3 (101). – 2015. – С. 59–69.
7. Лесин В.И. Физико-химические основы применения магнитных полей в процессах добычи, транспортировки, разработки и подготовки нефти. – Фундаментальный базис нефтегазовых технологий – М.: Геос, 2003. – С. 130–135.
8. Мирзаджанзаде А.Х., Алиев Н.А., Юсифзаде Х.Б. и др. Фрагменты разработки морских нефтегазовых месторождений. – Баку: Изд. «Елм», 1997. – 250 с.
9. Рахимов С.Р. Лаптев А.Б., Бугай Д.Е. О возможности использования магнитогидродинамической обработки для расщепления водонефтяных эмульсий - Инновационная деятельность предприятий по исследованию и получению современных материалов и сплавов: матер. междунар. науч. конф. – Орск, М.: Машиностроение. - Т. 1. – 2012. – С. 506–510.
10. Тебенихин Е.Ф. Безреагентные методы обработки воды в энергоустановках. – М.: Энергия, 1977. – 184 с.
11. Cefalas A.C., Kobe S., Drazic G., Sarantopoulou E., Kollia Z., Strazisar J., Meden A. Nanocrystallization of CaCO₃ at solid liquid interfaces in magnetic field: a quantum approach. // Appl. Surf. Sci. – 2008. – No. 254. – Pp. 6715–6724.
12. Chang K.T., Weng C.I. The effect of an external magnetic field on the structure of liquid water using molecular dynamic simulation. // J. Appl. Phys. – 2006. – No. 100. Pp. 043917.
13. Chibowski E., Holysz L., Szczes A., Chibowski M. Precipitation of calcium carbonate from magnetically treated sodium carbonate solution. // Colloid. Surf. A. – 2003. -- No. 225. – Pp. 63–73.
14. Coey J. Magnetic water treatment how might it work. // Philos. Mag. – 2012. – No. 92. – Pp. 3857–3865.

15. Frenkel M., Danchuk V., Multanen V., Bormashenko E., Magnetic field inspired contact angle hysteresis drives floating polyolefin rafts. // *Colloid Interface Sci. Commun.* – 2018. – No. 22. – Pp. 38–41.
16. Ghauri S.A., Ansari M.S. Increase in water viscosity under the influence of magnetic field. // *J. Appl. Phys.* – 2006. – No. 100. – Pp. 066101-066102.
17. Holysz L., Chibowski E., Szczes A. Influence of impurity ions and magnetic field on the properties of freshly precipitated calcium carbonate. // *Water Res.* – 2003. – No. 37(14). – Pp. 3351–3360.
18. Jha P.K., Xanthakis E., Jury V., Le-Bail A. An overview on magnetic field and electric field interactions with ice crystallisation; application in the case of frozen food. // *Crystals.* – 2017. – No. 7 (299). – Pp. 1–22.
19. Kitazawa K., Ikezoe Y., Uetake H., Hirota N. Magnetic field effects on water, air and powders. // *Phys. B.* 294e295. – 2001. – Pp. 709–714.
20. Krems R.V. Breaking van der Waals molecules with magnetic fields. // *Phys. Rev. Lett.* – 2004. – No. 93. – Pp. 013201.

References

1. Voznaya N.F. Water chemistry and microbiology. Moscow. Higher School. 2nd Edition. 1979. 140 p. (In Russ.)
2. Ivanov T.F. Destruction of oil-water emulsions in an inhomogeneous magnetic field. *Journal of Physical Chemistry.* T. 30. No. 11. 1956. pp. 2593-2595. (In Russ.)
3. Inyushin N.V., Kashtanova L.E., Mugtabarov F.K. Magnetic processing of commercial fluids. Ufa. State. published scientific and technical literature “Reagent”. 2000. 178 p. (In Russ.)
4. Klassen V.I. Magnetization of water systems. Moscow. Chemistry. 1978. 240 p. (In Russ.)
5. Laptev A.B., Shaydakov V.V., Maksimochkin V.I., Khasanov N.A. Development of installations for the magnetic treatment of oil sludge. Materials of the second All-Russian Scientific and Practical Conference: “Waste - 2000”. Ufa. 2000. Pp. 157-158. (In Russ.)
6. Laptev A.B., Rakhimov S.R., Latypov O.R., Tusenkov A.S., Akhiyarov R.Zh., Bugai D.E. The electrochemical method of separation of oil-water emulsions. Problems of the collection, preparation and transport of oil and oil products. 2015. No.3 (101). pp. 59-69. (In Russ.)
7. Lesin V.I. Physico-chemical principles of the use of magnetic fields in the processes of oil production, transportation, development and preparation. Fundamental basis of oil and gas technologies. Moscow. Geos. 2003. pp. 130–135. (In Russ.)
8. Mirzadzhanzade A.Kh., Aliev N.A., Yusifzade H.B. and other. Fragments of the development of offshore oil and gas fields. Baku. Ed. “Elm”. 1997. 250 p. (In Russ.)
9. Rakhimov S.R., Laptev A.B., Bugai D.E. On the possibility of using magnetohydrodynamic treatment for delaminating water-oil emulsions - Innovative activities of enterprises in the research and production of modern materials and alloys: mater. Int. scientific conf. Orsk, Moscow. Mashinostroenie. 2012. T. 1. pp. 506-510. (In Russ.)
10. Tebenikhin E.F. Non-reagent water treatment methods in power plants. Moscow. Energy. 1977. 184 p. (In Russ.)
11. Cefalas A.C., Kobe S., Drazic G., Sarantopoulou E., Kollia Z., Strazisar J., Meden A. Nanocrystallization of CaCO₃ at solid liquid interfaces in magnetic field: a quantum approach. *Appl. Surf. Sci.* 2008. No. 254. pp. 6715-6724.
12. Chang K.T., Weng C.I. The effect of an external magnetic field on the structure of liquid water using molecular dynamic simulation. *J. Appl. Phys.* 2006. No.100. 043917.
13. Chibowski E., Holysz L., Szczes A., Chibowski M. Precipitation of calcium carbonate from magnetically treated sodium carbonate solution. *Colloid. Surf. A.* 2003. No. 225. pp. 63-73.
14. Coey J. Magnetic water treatment how might it work. *Philos. Mag.* 2012. No.92. pp. 3857-3865.

15. Frenkel M., Danchuk V., Multanen V., Bormashenko E., Magnetic field inspired contact angle hysteresis drives floating polyolefin rafts. *Colloid Interface Sci. Commun.* 2018. No.22. pp. 38-41.
16. Ghauri S.A., Ansari M.S. Increase in water viscosity under the influence of magnetic field. *J. Appl. Phys.* 2006. 100. pp. 066101-066102.
17. Holysz L., Chibowski E., Szczes A. Influence of impurity ions and magnetic field on the properties of freshly precipitated calcium carbonate. *Water Res.* 2003. No. 37(14). pp. 3351-3360.
18. Jha P.K., Xanthakis E., Jury V., Le-Bail A. An overview on magnetic field and electric field interactions with ice crystallisation; application in the case of frozen food. *Crystals.* 2017. No. 7 (299). pp. 1-22.
19. Kitazawa K., Ikezoe Y., Uetake H., Hirota N. Magnetic field effects on water, air and powders. *Phys. B/ 294e295.* 2001. pp. 709-714.
20. Krems R.V. Breaking van der Waals molecules with magnetic fields. *Phys. Rev. Lett.* 2004. No. 93. pp. 013201.