

Чрезвычайные ситуации и проблемы экологии в нефтегазовой отрасли

УДК 574.24;556.31;628.161

ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ВОДНЫХ БИОДИСПЕРСИЙ ПРИ ЭЛЕКТРООБРАБОТКЕ ELECTROKINETIC PROPERTIES AND SANITARY-HYGIENIC SAFETY OF WATER BIODISPERSIONS DURING ELECTROPROCESSING

С. В. Воробьева, О. В. Смирнов, В. О. Смирнова, Т. В. Семенова
S. V. Vorobjeva, O. V. Smirnov, V. O. Smirnova, T. V. Semenova

*Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург*

Ключевые слова: подземные воды; свойства биодисперсий; электрообработка; биотестирование

Key words: groundwater; properties of biodispersions; elektrotreatment; biotesting

Обеззараживание — один из наиболее важных процессов приготовления питьевой воды, здесь широко используются электрообработка и электрокинетические свойства биосистем. Электроэнергия применяется для получения бактерицидного или нейтрального агента, озонирования, обработки ионами серебра, электролиза, электрофлотации. Специфические электрокинетические явления связаны с нарушением устойчивости систем на основе силового взаимодействия поляризованных или обладающих жестким диполем бактериальных тел электрофореза, электрокоагуляции, электрического разряда, обработки ультракороткими волнами тока.

При использовании каждого из этих методов изменяются агрегативная и седиментационная устойчивости биодисперсий. То есть механизм обеззараживания воды, связанный с разделением фаз, и, следовательно, технологические и аппаратные решения могут опираться на основные положения теории устойчивости коллоидно-дисперсных систем.

Многолетний опыт эксплуатации типовых очистных сооружений подтверждает, что недостаточная очистка исходной воды отрицательно сказывается на бактерицидном действии применяемых обеззараживающих агентов. Процесс коагулирования бактерий и вирусов не приводит к их гибели. Они инактивируются за счет осаждения (например, в фильтре) и впоследствии удаляются в виде сконцентрированной фазы. Так, коагулирование и удаление коллоидных включений при очистке речной воды снижает общее содержание вирусов в ней на 98 % от исходного [1].

Экспериментально подтверждено, что удаление коагулянта и взвесей из воды обеспечивает значительно большую бактериальную безопасность, чем хлорирование, озонирование или ультрафиолетовое облучение, которые эффективны при обеззараживании бесцветной и абсолютно прозрачной воды.

Мутность, а иногда цветность воды обусловлены наличием ила, планктона, в которых возможно присутствие болезнетворных бактерий, споровых микроорганизмов и вирусов, которые по своим размерам приближаются к коллоидным частицам. Полнота удаления этих примесей из воды также непосредственно зависит от степени ее осветления.

Устойчивость дисперсной фазы во многом зависит и от электрического заряда ее частиц, с которым связаны такие свойства микроорганизмов, как электрофоретическая подвижность, склонность к спонтанной агглютинации и некоторые другие.

В электрическом поле некоторые частицы электрически нейтральны и не двигаются ни к аноду, ни к катоду. Это явление имеет место в нейтральной среде. При изменении pH среды изменяется и величина электрического заряда. То значение pH , при котором белковая частица остается неподвижной в электрическом поле вследствие того, что потенциал ее равен нулю, называется изоэлектрической точкой.

Молекулы, расположенные на поверхности клеточной стенки (или капсулы) микроорганизма, содержат заряженные группы, в результате чего этот организм имеет поверхностный заряд. Поверхность большинства микробных клеток заряжена отрицательно, так как среди клеточных компонентов, образующих эту поверхность, присутствуют соединения, изоэлектрическая точка которых лежит в кислой зоне. За небольшим исключением отдельные организмы не поляризованы, так как заряд распределяется равномерно по всей поверхности клетки.

Электрофоретическая подвижность микроорганизма зависит от штамма или вида, а также от ионной силы и значения pH среды. Она изменяется и с возрастом микроорганизма, например, наименьшая электрофоретическая подвижность бактерии *E. Coli* наблюдается в течение ранней экспоненциальной фазы роста. Подобно белковым частицам бактериальные клетки, суспендированные в водной среде с различными pH , при наложении электрического поля перемещаются или в сторону анода, или в сторону катода. В водной нейтральной среде они движутся по направлению к аноду, что указывает на то, что бактериальные клетки заряжены отрицательно.

Электрический заряд бактериальной клетки, суспендированной в водной среде, объясняется возникновением двойного электрического слоя. Бактериальная клетка с помощью своих поверхностных ионов притягивает ионы противоположного заряда из среды. В результате этого формируется двойной слой, внутренняя часть которого — поверхность клетки, а наружная — среда, в которой она находится. ξ -потенциал бактерий выражает разность потенциалов между подвижной и неподвижной частями двойного электрического слоя, то есть между глубоко лежащей частью двойного слоя, непосредственно связанной с поверхностью частицы, и средой. Из этого следует, что ξ -потенциал бактерий значительно зависит от степени концентрации ионов водорода среды [1].

Бактерии, суспендированные в нейтральной водной среде, под влиянием электрического поля, как правило, несут отрицательный электрический заряд. Это связано с состоянием щелочной диссоциации белка бактерии. При постепенном подкислении среды потенциал снижается до нуля, при дальнейшем подкислении бактерии перезаряжаются и приобретают положительный электрический заряд, поэтому под действием электрического поля они перемещаются теперь к катоду. Чем больше удаляются бактерии от изоэлектрической точки, тем выше их положительный заряд. Скорость движения не изменяется и после смерти клетки.

Направление движения бактерий в электрическом поле, спонтанная агглютинация, которую они часто обнаруживают при кислой реакции среды, указывают, что у бактерий при их физиологических значениях pH наблюдается перевес кислых групп над основными. Вследствие отрицательного заряда и коллоидных размеров бактерий взаимодействие с положительно заряженными ионами окружающей среды представляет особенный интерес. Между клеткой и средой все время происходит обмен ионами, который зависит как от концентрации этих ионов, так и от их способности к адсорбции.

Электрообработка, при которой кроме анодного растворения электродов из железа и алюминия имеют место явления специфические — поляризационные, связанные с воздействием поля на клетку как слоистый полупроводник — диэлектрик, должна быть тем более эффективной при обеззараживании воды [1].

Для широкого внедрения электрических методов необходимо убедиться в отсутствии опухолеродного действия воды, подвергнутой электрообработке. Особенно

это важно для водообеспечения экипажей автономных объектов, длительно использующих воду после электрообработки.

Согласно заключению экспертов Всемирной организации здравоохранения, не менее 75 % всех случаев образования злокачественных опухолей обусловлено факторами окружающей среды и, прежде всего, широким внедрением химии в сферу производственной и хозяйственно-бытовой деятельности человека. Такой вывод требует сложной, длительной, дорогой, трудновыполнимой проверки на канцерогенность химических веществ (ежегодно синтезируется более 250 000 новых веществ).

Так, эксперименты по определению канцерогенности только одного какого-либо вещества требуют участия многих специалистов, использования многочисленных методик, длительности опыта не менее 2–3 лет. По данным США оценка канцерогенности лишь одного химического вещества обходится до 500 000 долларов [1].

Фактические масштабы химического антропогенного пресса на окружающую среду давно переросли контролируемые возможности традиционного санитарно-гигиенического нормирования.

В современных условиях наличие токсических веществ в воде быстро и эффективно может быть определено методами биотестирования по специфическим реакциям подопытных организмов. Приоритетность методов биотестирования, по сравнению с другими методами оценки качества водной среды, подтверждена многолетними практикой и исследованиями.

Для определения параметров хемотаксической реакции инфузорий используется прибор «Биотестер-2», который фиксирует среднюю концентрацию движущихся инфузорий в верхней зоне кюветы. При наличии движущихся клеток изменяется коэффициент пропускания жидкой среды (инфузории отражают часть световых лучей, и чем выше их концентрация, тем меньше световых лучей достигнет фотодиодов).

Проводилась серия стандартных анализов с *Paramecium caudatum* (инфузория-туфелька) в качестве тест-объекта [2]. Прибор «Биотестер-2» по определенной методике производит оценку токсичности пробы, выраженной безразмерной величиной — индексом токсичности *T*.

Система биотестового контроля в положительных случаях, когда контроль не выявляет токсичности проб, позволяет отказаться от дорогостоящих и длительных химических анализов.

В случаях, когда определяется токсичность, требуются уточнение преобладающего загрязнителя с помощью химико-аналитических средств и, на основе этого, корректировка режимов очистки. То есть перед комплексным контролем вод питьевого назначения целесообразно использовать как стартовый — метод биотестирования.

Подземные воды Тюменской области относятся к Западно-Сибирскому мегабассейну, и для питьевых целей в пределах Тюменской области используются воды олигоцен-четвертичного комплекса [3].

По данным гидрогеологических исследований подземных вод Тюменской градопромышленной зоны, например, в 2008–2010 гг. было выявлено повышенное относительно ПДК содержание следующих загрязняющих компонентов: железа в (1,4÷250) раз, марганца (2÷60,8), аммония (1÷18,2), нитратов (1,1÷3), кремния (1÷2), бария (1,4÷16,8), брома (1,3÷20), алюминия (1,3÷2,3), свинца (1÷7,9), никеля (1,2÷1,7), хрома (1÷3), нефтепродуктов (1,2÷2,8).

Так, в Вартовском нефтегазоносном районе подземные воды подвержены мощному воздействию техногенных процессов на дневной поверхности, связанных с большим количеством объектов инфраструктуры нефтепромыслов.

Также в условиях современного техногенеза исключительную актуальность приобретает оценка поступления в подземные воды агрохимикатов.

Актуальным является проведение расчетов времени возможной фильтрации загрязненных вод по вертикали до основного эксплуатируемого пласта. В случае, когда время существования загрязняющих веществ меньше времени вертикальной фильтрации, добываемые воды считаются полностью защищенными от них и условно защищенными от загрязнения стабильными химическими соединениями.

Содержание железа в природных подземных водах в основном во всех эксплуатируемых скважинах превышает нормируемые допустимые значения. В подземных водах в восстановительной среде глубоких горизонтов железо обычно находится в виде ионов двухвалентного железа, которое устойчиво в водных растворах при наличии свободной углекислоты и отсутствии окислителей. При контакте с воздухом вода обогащается кислородом, растворенное в воде двухвалентное железо окисляется в трехвалентное, которое гидролизует, коагулирует и выпадает в осадок в виде гидрооксида железа $Fe(OH)_3$ [4].

Для снижения токсичного действия химических веществ питьевой воды необходимы разработка программ по внедрению локальных систем доочистки питьевой воды, адаптированных к характеру загрязнения воды, а также замена водопроводных сетей, подвергшихся коррозии, на трубы из современного материала.

Возможно улучшение качества питьевой воды [5], включая подземные источники, электрохимически полученными алюминиевым, щелочным и комплексным реагентами [3, 6].

Анализ изменения физико-химических показателей (включая микробиологические) качества воды после коагуляции в зависимости от вида и концентрации реагента показал, что при использовании электрохимически полученного реагента фильтрат удовлетворял нормативным требованиям, как микробиологическим, так и по цветности, величине pH и остаточному алюминию (III) при концентрации 1,2 мг/л, что в 2 раза меньше оптимального содержания сульфата алюминия (2,4 мг/л).

Таким образом, изучение связи электрокинетических свойств биодисперсий с физико-химическими эффектами при электровоздействии весьма актуально.

Библиографический список

1. Воробьева С. В., Смирнов О. В. Электрокинетические свойства биодисперсий и онкологическая безопасность электрообработки воды // Вестник МАНЭБ. – 1999. – С. 72–75.
2. Биотестирование в экологических и природоохранных электротехнологиях / В. О. Смирнова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2012. – № 3. – С. 110–116.
3. Смирнов О. В. Формирование железосодержащих питьевых подземных вод Тюменской области и проблема их обезжелезивания // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2007. – № 1. – С. 101–107.
4. Контроль токсичности подземных вод питьевого назначения Тюменской области / В. О. Смирнова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2013. – № 1. – С. 109–113.
5. Воробьева С. В. Электрообработка систем с жидкой дисперсионной средой в экологических технологиях // Вестник МАНЭБ. – 1999. – С. 69–72.
6. Смирнов О. В., Смирнова Л. Ф., Лютиков В. А. Интенсификация очистки природных вод электрохимически полученными реагентами // ЖПХ. – 1998. – Т. 71, № 9. – С. 1486–1492.

Сведения об авторах

Воробьева Сима Васильевна, д. т. н., профессор кафедры техносферной безопасности, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 89129275191, e-mail: svorobeva@mail.ru

Смирнов Олег Владимирович, д. т. н., профессор кафедры электроэнергетики, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 89129215192, e-mail: oleg_smirnov_1940@mail.ru

Смирнова Влада Олеговна, к. т. н., доцент кафедры инноватики и интегрированных систем качества, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, тел. 89111533401, e-mail: vlada_sm@mail.ru

Семенова Татьяна Владимировна, к. г.-м. н., доцент кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)390346, e-mail: t_v_semenova@list.ru

Information about the authors

Vorobjeva S. V., Doctor of Engineering, Professor at the Department of Technosphere Safety, Industrial University of Tyumen, phone: 89129275191, e-mail: svorobeva@mail.ru

Smirnov O. V., Doctor of Engineering, Professor at the Department of Electric Power Engineering, Industrial University of Tyumen, phone: 89129215192, e-mail: oleg_smirnov_1940@mail.ru

Smirnova V. O., Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Innovations and Integrated Quality Systems, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, phone: 89111533401, e-mail: vlada_sm@mail.ru

Semenova T. V., Candidate of Geology and Mineralogy, Associate Professor at the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen, phone: 8(3452)390346, e-mail: t_v_semenova@list.ru