

**Бирзуль Алексей Николаевич**

старший преподаватель

ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный

университет путей сообщения»

г. Хабаровск, Хабаровский край

DOI 10.31483/r-99164

## **ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ИНДИКАЦИИ АКТИВИРОВАННЫХ ВОД В КУРСЕ ХИМИИ ВОДЫ**

***Аннотация:** в статье рассмотрено современное состояние вопроса о выявлении изменений, происходящих в воде в результате различных физических воздействий, приведена классификация методов индикации, проанализированы их главные достоинства и недостатки, обсуждены наиболее часто применяемые на практике индикаторы и оценена перспективность их дальнейшего использования для контроля качества воды. Приведены необходимые сведения для проведения лекционных и практических занятий по химии воды, посвященных затронутой теме.*

***Ключевые слова:** активированные воды, качество воды, индикация, химия воды, физические факторы.*

Очистка воды в результате различных физических воздействий (так называемая физическая активация) давно стала предметом широких и разносторонних исследований [2]. Накоплен большой опыт промышленных предприятий по применению данного явления на практике и экспериментальный материал, который нуждается в тщательном анализе и обобщении.

Данные многих авторов по рассматриваемому вопросу не систематизированы, условия проведения опытов крайне разнообразны и не воспроизводимы. Все это затрудняет сравнение результатов исследований, приводит к злоупотреблениям и вольным трактовкам, вызывает недоверие у части ученых и производственников к вопросам активации воды.

Несмотря на всю спорность затронутой темы, этим вопросам нужно уделять должное внимание при изучении студентами специальной дисциплины «Химия воды и микробиология». Приведенная далее аналитическая информация позволяет студенту и преподавателю легче ориентироваться при самостоятельной работе на тему активированных вод.

Наибольшую известность в промышленности получил способ активации воды при воздействии магнитного поля. Особенности магнитной обработки воды вошли в содержание известного (и наиболее часто применяемого) вузовского учебника по химии воды Н.Ф. Возной [3]. Следует учесть, что в названной работе методы анализа «магнитной» воды остались за скобками изложенного материала.

Существующие методики оценки качества воды, основанные на анализе химических примесей и патогенных микробов, явно недостаточны для полной характеристики активированных вод. Они не позволяют широко использовать активационные процессы очистки и судить о степени активации воды и допустимости таких воздействий для водоочистой техники и водопотребителей. Поэтому для контроля физических способов водоподготовки, для выбора правильного (дающего максимальный и безопасный эффект) режима работы промышленных установок необходимы методы индикации. Кроме того, они важны при изучении механизмов наблюдаемых явлений.

Проблема индикации обработанной воды должна опираться на физическую теорию, которая и укажет на целесообразные методы анализа. Однако в настоящее время такой общепризнанной теории не существует, имеется лишь ряд гипотез о возможном механизме активации [2].

Ситуация с методами индикации усложняется тем фактом, что, по мнению Л.П. Семихиной [7], наметился определенный кризис в использовании приборов для изучения воды. Как отмечает К.К. Калниньш [5], уже не найдется современного инструментального метода, который бы не был применен к воде в многочисленных ее состояниях.

Предыстория методов индикации связана с работами Дж. Пиккарди, который для исследования активации одним из первых применил дифференцированный метод, суть которого состоит в сравнении активированного и неактивированного состояний воды. У нас в стране подобные исследования выполнялись в лаборатории бионики Казанского университета в 70-ые годы прошлого века [1]. Ее сотрудниками была предложена классификация методов индикации «магнитной» воды, которая в принципе может быть распространена и на другие виды вод, подвергнутых физическим воздействиям. В основу этой классификации положены три критерия: разделы наук, условия применения метода и его соответствие той или иной промышленной технологии. Авторы предложенной классификации не считают ее строгой и завершенной, не сомневаются в ее дальнейшем усложнении и совершенствовании и отмечают сводимость принципов деления друг к другу и отсутствие четкой границы между группами.

Для методики преподавания химии воды наибольший интерес представляет классификация методов индикации по разделам наук, поэтому ее рассмотрим более подробно. Она включает в себя *следующие методы*:

1. *Физические*. Их можно назвать наиболее логичными и разумными, поскольку исследуется вода, подвергнутая именно физическим воздействиям. К ним относят рентгенографию, нейтронографию и др. К сожалению, эти достаточно точные методы оказываются малопригодными и малоинформативными для исследования водных систем, поскольку вода обладает чувствительной динамической структурой [4]. Воздействие, например, жестким рентгеновским излучением может вызвать изменение структуры воды. В итоге получим эффект двойной активации и искажение результатов опытов при одновременном использовании физических факторов в обработке и исследовании воды. По данным работы [5], такие структурные изменения воды не могут быть выражены в объективно измеряемых параметрах.

Рассматриваемые в данном пункте методы основаны на определении веществ по их физическим свойствам. Здесь фигурируют такие параметры, как диэлектрическая проницаемость, поверхностное натяжение, показатель пре-

ломления. Показатель преломления, по мнению Г.Г. Маленкова [6], вообще мало пригоден для выяснения структурных характеристик. На него оказывает влияние температура. Следовательно, использование оптического метода усложняется процедурой термостатирования. Тем не менее есть достоверные данные об изменении оптической плотности у дегазированной [4], омагниченной [1] воды. В.С. Абрамец рекомендует измерять у активированных вод коэффициенты пропускания в ультрафиолетовом излучении дальнего и среднего диапазонов на длинах волн от 190 до 300 нм [2]. Снижение прозрачности воды в данной области будет говорить о произошедших в растворе структурных изменениях и об активирующем влиянии конкретного физического фактора (магнитного поля, ультразвука и др.).

Для индикации представляет интерес диэлектрическая проницаемость, по которой можно контролировать эффективность активации. Изменение диэлектрической проницаемости достоверно установлено у омагниченной и талой вод. Недостатком метода является то, что для замера диэлектрической проницаемости необходимо сложное оборудование, которое зачастую приводит к значительному разбросу полученных экспериментальных данных.

К другим достаточно изученным параметрам относится поверхностное натяжение. По поводу изменения данной величины у активированных вод нет единого мнения. Одни авторы [1] указывают на увеличение поверхностного натяжения у магнитной воды. Другие настаивают на отсутствии изменений поверхностного натяжения. Данное противоречие объяснено в работе [1] разным солевым составом воды и различием методик. Все это значительно ограничивает функциональные возможности рассматриваемого метода.

Схожая ситуация сложилась и с использованием в качестве индикатора вязкости жидкости, который редко применяется из-за противоречивости экспериментальных данных. Чаще всего исследователи наблюдают снижение вязкостных характеристик у активированных вод. Косвенно об изменении вязкости названных вод можно судить по скорости осаждения в ней различных нерастворимых порошков (ферромагнитных оксидов, оксихлорида висмута, алун-

да и т. д.). Среди достоинств этого метода – его универсальность, пригодность для любых жидкостей, оперативность, стабильность и воспроизводимость результатов, возможность количественной оценки. Так, В.А. Помазкиным достигнута степень омагниченности растворов до 44%. К недостаткам метода следует отнести его субъективность, связанную с оценкой оседания порошка по специальному эталону мутности, токсичность отдельных реагентов.

Среди физических методов индикации отдельного упоминания заслуживает кристаллоиндикация, которая подробно исследовалась инженером П.В. Белковским в лабораториях ДВГУПС. Данный автор с помощью микроскопа сравнивал рисунки частиц хлорида натрия, выделяющихся при высыхании капель солевых растворов до и после активации. При этом методе оценка активации носит во многом качественный характер с приблизительным количественным учетом площади образующихся солевых следов. Кристаллоиндикация в модификации П.В. Белковского понятна и наглядна, но при этом длительна и трудоемка.

По мнению братьев Зелепухиных [4], узловым вопросом индикации степени активации является измерение энергии водородных связей, по величине которой можно судить о структурных особенностях воды. В этом отношении перспективным является диэлектрический метод (L-метод), разработанный Л.П. Семихиной [7]. Он основан на исследовании низкочастотного максимума диэлектрических потерь водных систем, чувствительного к малейшим изменениям сетки водородных связей в жидкостях. Сами диэлектрические потери характеризуют часть энергии, рассеиваемую в диэлектрике в виде тепла. Этот метод подробно изучен ею при магнитной обработке воды, но пригоден и при других видах воздействия. Автором он отнесен к методам неразрушающего контроля водных систем. Теперь перейдем к обсуждению следующих методов индикации.

*2. Физико-химические.* В последние годы эти методы доминируют в связи с необходимостью определения микрокомпонентов. Их общим недостатком яв-

ляется невысокая точность определений. К индикаторам в данном случае относятся электропроводимость, показатель pH, растворимость солей и др.

При изучении влияния физических воздействий на водные растворы часто используется и патентуется метод электропроводимости, при котором оптимальный режим обработки воды соответствует наибольшей разнице данной величины у обработанной и необработанной воды. Важно помнить, что электропроводимость воды повышается на 2–2,5% при увеличении температуры на 1°C. Кроме того, получаемая разница в электропроводимости обработанной и необработанной воды очень незначительна. Следовательно, при использовании данного показателя необходимо термостатирование и высокоточные приборы, позволяющие фиксировать малые изменения электропроводимости. Не случайно в исследовании [4] не обнаружена разница в электропроводимости дегазированной и дистиллированной воды. По данным О.Н. Савостиковой, в результате магнитной обработки электропроводимость воды повышается. П.А. Шершнев и Н.И. Витулис отмечали повышенную электропроводимость талой воды по сравнению с бидистиллированной, различие сглаживалось на третьи сутки [2].

Из других физико-химических показателей представляет интерес концентрация водородных ионов pH. Величина pH является одной из важнейших характеристик воды и всегда фигурирует в документах, нормирующих качество воды. Как показывают результаты исследований, pH достоверно увеличивается в дегазированной, талой, «магнитной» водах [1,4]. Изменение величины pH может служить в качестве простого и доступного способа индикации. На основании этого показателя К.К. Калниныш различает активную воду ( $\text{pH}=7-9$ ) и воду, обладающую низкой активностью ( $\text{pH}=3-5$ ) [5]. Однако он считает, что оценку активности воды нельзя заменить обычным измерением pH, и предлагает определять характеристики окислительно-восстановительных реакций, зависящие от способа ее обработки. В качестве одной из таких реакций, моделирующих биохимические процессы, им использовано явление переноса атома водорода в системе «хинон-гидрохинон» с определением константы скорости реакции, по которой контролируют эффективность обработки воды [5]. Среди до-

стоинств этого метода авторами указывается его воспроизводимость, независимость от ионного состава исследуемой пробы. К недостаткам рассматриваемого метода следует отнести использование токсичных реагентов и необходимость их дозирования.

Важно отметить, что О.Н. Савостиковой удалось экспериментально показать, что увеличение степени активации воды приводит к одновременному повышению показателя рН и электропроводимости воды, т.е. связать воедино два индикаторных показателя для активированных вод [2].

Довольно простым методом, не требующим специального оборудования и подготовки, является исследование растворимости солей в воде до и после активационной обработки. Разрушение накипи давно стало индикатором удовлетворительной работы магнитных противонакипных устройств. По данным П.С. Стукалова, растворимость карбоната кальция в обработанном магнитным полем дистилляте снижается на 12–15% по сравнению с необработанным. По скорости растворения солей в воде можно судить и о направленности активации в сторону разрушения или упорядочения структуры воды. В зависимости от способа дегазации (с кипением или без него) в работе [4] установлена разная кинетика растворения неорганических солей.

*3. Биологические.* Их по праву можно считать одними из первых методов индикации, к которым сохраняется неизменно высокий интерес среди студентов. Ведь активированная вода изначально исследовалась в связи с ее биологическим действием. В последнее время особенно часто упоминается и активно применяется биотестирование. Очевидно, для оценки эффекта активации водных систем разными способами насущно необходим набор биотестов. Перспективность биотестов общепризнанна, но универсального надежного биотеста не создано до сих пор. Большой разброс поведенческих реакций гидробионтов приводит к низкой чувствительности и надежности биотестов и создает сложности в интерпретации результатов. Но обычно биологические объекты оказываются чувствительными к физической активации воды даже минимальной интенсивности. Поэтому часто слово «физическая» опускается и вместо него ча-

сто вводится понятие «биологическая активация», т.е. рассматривается не сама природа процесса, не вызываемые им вторичные явления, а влияние такой воды на ее конечного потребителя. Давно известны экспериментальные данные, которые достоверно говорят о биологическом действии активированной воды на всех уровнях живого. По этому поводу интересная мысль высказана в работе [4]: «... живой организм сам должен дать ответ на вопрос, в каком физическом состоянии ему нужна вода, какую воду он лучше будет усваивать». В своих опытах авторы использовали такой показатель, как водопоглощающая способность растительных тканей. Дополнительно У.Ш. Ахмеров называет в качестве индикаторов осмотическую резистентность эритроцитов, проницаемость мембран, активность ферментов. Последний параметр иногда рассматривают в отдельной группе *биохимических* методов. А.В. Фалеев установил зависимость активности каталазы крови от предварительного физического режима воды [2]. Оказалось, что в талой воде активность наименьшая, наиболее активно каталаза действует в свежедистиллированной воде.

4. *Технологические.* Активацию часто относят к распространенным технологическим приемам и вспомогательным операциям производства. Для внедрения эффектов активации в практику были выработаны интересные критерии оценки. Они кажутся наиболее приемлемыми с производственной точки зрения, так как нет надобности в увязывании изменений какого-либо показателя с технологическим эффектом. Здесь наибольшее распространение получила индикация по изменению свойств цемента и бетона при замешивании на воде, подвергнутой физической активации. В советское время несколько исследователей показали, что предварительная магнитная обработка воды повышает прочность цемента примерно на 10–15%. Экспериментальные исследования С.П. Зубрилова с талой водой установили прирост прочности в среднем на 16%, а с «озвученной» ультразвуком водой – на 10–20%. В подобных работах часто отмечается, что технические характеристики бетонных изделий улучшаются, а также достигается экономия цемента до 20%.



5. *Химические.* В классификации У.Ш. Ахмерова эти методы не упоминаются, но их необходимо рассмотреть дополнительно. На важность химических процессов при различных физических воздействиях указано в источнике [6]: «...рассматривая результаты того или иного воздействия, нужно прежде всего выяснить, какое изменение химического состава может это воздействие вызвать, какое влияние возникающие продукты могут оказывать...». Упущение У.Ш. Ахмерова, видимо, вызвано тем, что им отмечено отсутствие каких-либо изменений химического состава «магнитной» воды. Химические методы анализа применяют в основном для определения макрокомпонентов. К ним относят так называемые классические методы – гравиметрический и титриметрический анализ, широко используемый для оценки эффекта магнитной обработки воды по количеству выделяющейся накипи. Титрованием, в частности, определялась щелочность «магнитной» воды, которая обычно выше, чем у необработанной.

В качестве химического метода можно рассматривать и изменение скорости какой-либо известной химической реакции, протекающей в активированных водах. Так, О.В. Часовской обнаружено ускорение времени взаимодействия тиосульфата натрия с серной кислотой у электроактивированных вод. Эта реакция хорошо изучена в химической кинетике и не требует дорогих лабораторных реактивов.

Учитывая широкий спектр областей знания, затронутых вопросами активации воды, и необходимость оперативной регулировки процесса, наиболее эффективным и перспективным направлением автору статьи кажется разумная комбинация рассмотренных методов.

В качестве исследовательской работы студентам может быть предложена разработка методики комплексной оценки качества «магнитной» воды, которая подойдет и для изучения влияния других физических факторов на свойства питьевых вод. Очевидно, она будет включать определение следующих взаимосвязанных показателей: химических, физико-химических, биологических и клинико-физиологических. Для разработки названной методики предварительно по-

требуется индивидуальная работа студентов по форме, приведенной в таблице 1. Каждый студент получает от преподавателя контрольный параметр, по которому идет оценка активации, и находит в научной литературе необходимый экспериментальный материал.

Таблица 1

*Форма задания по теме «Методы индикации активированных вод»  
(дан пример заполнения)*

Параметр	Вид активации воды	Тенденция	Автор исследования
<i>Показатель преломления</i>	<i>Вращение водной системы в магнитном поле</i>	<i>Уменьшение по сравнению с контролем</i>	<i>Л.П. Семихина</i>

При анализе сводной таблицы 1, составленной по объединенным данным всех индивидуальных работ, нужно попытаться понять причины, по которым происходит изменение такого или иного индикатора. Тем самым, студенты будут вовлечены в научный поиск, успех которого зависит от них самих.

### **Список литературы**

1. Ахмеров У.Ш. Методы индикации «магнитной» воды / У.Ш. Ахмеров, А.П. Ведерников, Л.Ф. Поленов. – Казань: Изд-во Казанского университета, 1972. – 74 с.
2. Бирзуль А.Н. Применение активированных растворов в процессах очистки воды / А.Н. Бирзуль, В.С. Абрамец // Водоочистка. – 2012. – №7. – С. 17–20.
3. Возная Н.Ф. Химия воды и микробиология / Н.Ф. Возная. – М.: Мир, 1983. – 347 с.
4. Зелепухин В.Д. Ключ к «живой» воде / В.Д. Зелепухин, И.Д. Зелепухин. – Алма-Ата: Кайнар, 1987. – 175 с.
5. Калниныш К.К. Вода – родник жизни. О животворящей силе воды в свете новых представлений о катализе / К.К. Калниныш, Л.П. Павлова. – СПб.: ИВС РАН, СПГУТД, 2005. – 293 с.

6. Маленков Г.Г. Вода: свойства и структура. Особенности составления и экспертизы заявок на изобретения / Г.Г. Маленков, Т.Н. Лакомкина. – М.: Информ.- изд. центр Роспатента, 2005. – 62 с.

7. Семихина Л.П. Возможности диэлектрического метода для анализа состояния водных систем после физических воздействий / Л.П. Семихина // Вестник ТюмГУ. – 2000. – №3. – С. 39–43.