

**Бирзуль Алексей Николаевич**

старший преподаватель

ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный

университет путей сообщения»

г. Хабаровск, Хабаровский край

**Питиляк Дмитрий Александрович**

главный экономист отдела

Отделение Банка России по Сахалинской области

г. Южно-Сахалинск, Сахалинская область

DOI 10.31483/r-98698

## **ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ САМООЧИЩЕНИЯ ВОДОЕМОВ КАК ЧАСТЬ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ»**

***Аннотация:** в статье освещены методические вопросы изучения физических механизмов самоочищения водоемов, тесно связанные с проблемой охраны и комплексного использования водных ресурсов. Описаны способы усиления физических процессов самоочищения водоемов, которые необходимо рассматривать на лекционных занятиях в строительных учебных заведениях. Подробно охарактеризованы радиоактивная, механическая, электромагнитная и термическая составляющие самоочищения. По мнению авторов, знания физических механизмов самоочищения позволят ослабить истощение водных ресурсов и снизить их загрязнение.*

***Ключевые слова:** природные воды, охрана вод, самоочищение, гидрофизика, физические факторы.*

Антропогенное загрязнение водных ресурсов в наши дни стало столь значительным, что вызывает тревогу у различных слоев российского общества. Особая обеспокоенность населения касается неудовлетворительного положения с источниками питьевого водоснабжения. Согласно опросам разных лет, почти половина россиян активно интересуется пригодностью для питья водопроводной

воды у себя дома, ежегодно растет число потребителей исключительно бутилированной воды. В настоящее время 68% жителей России экологическую ситуацию в регионе своего проживания оценивают как удовлетворительную и хорошую, при этом 30% замечают тенденцию к ухудшению [5]. В том же опросе [5] среди самых острых экологических проблем (вне рамок ЧС) респонденты называют: загрязнение водоемов и их берегов мусором (по 73%), промышленными и канализационными стоками (64%), загрязнение воздуха автомобильными выхлопами (66%). При этом основными источниками экологических сведений для данных респондентов являются не специализированные сайты официальных ведомств или общественных организаций и активистов, а социальные сети и телевидение.

Наиболее высокие темпы водного загрязнения отмечены вокруг мегаполисов и крупных городов, они названы самой проблемной зоной в цитированной ранее работе [5]. В данных районах негативные последствия интенсивной промышленной деятельности должны быть уменьшены. Поставленные задачи требуют в первую очередь решения проблем самоочищения и самосохранения ранее загрязненных (в том числе «мертвых») водоемов. В учебной и научной литературе [1–4] показано, что существуют определенные факторы, с помощью которых водоемы могут справиться даже со своим значительным загрязнением. Реальность действия этих факторов доказывается в ходе теоретической и практической подготовки специалистов в области очистки природных и сточных вод.

«Комплексное использование водных ресурсов (КИВР)» – это учебная дисциплина, которую изучают студенты профиля «Водоснабжение и водоотведение» на третьем или четвертом году своего обучения. Согласно вводным положениям примерной программы 2000 года, одной из целей преподавания указанного курса было проектирование инженерных сооружений для защиты водных источников от истощения и загрязнения. В ДВГУПС основная методика преподавания КИВР была заложена в середине 90-х XX века профессором К.П. Каравановым, который на своих лекциях уделял повышенное внимание геохимии природных вод и корректному составлению водохозяйственных балансов. На

первый план им также вполне обоснованно выносились актуальные проблемы Амурского бассейнового округа и правовые аспекты существующего на тот момент водного законодательства. Примерно те же принципы преподавания были сохранены доцентом Е.В. Сошниковым и старшим преподавателем Е.В. Устиновой, ведущими в разные годы курс КИВР у студентов очного и заочного отделений ДВГУПС. Помимо сложившегося круга рассматриваемых вопросов, одним из авторов статьи дополнительно на учебных занятиях разбиралось направление «Активизация процессов самоочистки в водных объектах», предложенное Сметаниным В.И. в учебном пособии [4]. На семинарах по КИВР рассматривался также опыт зарубежных стран в названной научной области [6–7]. С целью раскрытия этой нетрадиционной учебной темы в курсе КИВР авторами далее даются теоретические обобщения и методический подход к изложению физических механизмов самоочищения.

Кратко напомним, что самоочищение водоемов представляет собой достаточно сложный комплекс взаимосвязанных биологических, гидрологических, химических и физических процессов [3]. Значение каждого из этих процессов трудно преувеличить. Действуя совместно, они помогают нейтрализовать последствия поступления в водоемы бытовых, производственных и поверхностных сточных вод. Однако их возможности не безграничны, часто требуют инженерного вмешательства, особенно на малых реках [4]. Как отмечал В.И. Сметанин в учебном пособии [4], инженерные мероприятия должны быть направлены на создание в водных объектах специальных режимов, поддерживающих очищающие процессы в воде.

На этом пути существуют достаточные сложности. Выделение индивидуально действующих физических факторов в реальности вряд ли возможно и производится лишь для удобства восприятия студентами новой информации. Преподаватель на занятиях подчеркивает, что сознательно не рассматривает биологические и другие механизмы самоочищения, при этом их роль несколько не преуменьшается, а главное внимание уделяется физическим процессам, а точнее процессам физической активации воды.

Вопросы физической активации воды в естественных условиях давно затрагивались в литературе, но, насколько известно, в систематизированном виде представлены не были и в отношении самоочищающей способности не рассматривались. Отправной точкой обсуждения могут служить исследования итальянского химика Дж. Пиккарди, отмечавшего изменение физико-химических свойств водотоков под влиянием внешних воздействий, и гипотеза русского физика Л.Д. Кисловского о том, что активация воды и обратный процесс (деактивация) постоянно происходят в природе [2]. Заметим, что историю этого вопроса можно дать студентам на самостоятельное изучение, а на аудиторных занятиях ограничиться их краткими сообщениями, что даст эффект предварительного «погружения» в изучаемую тему.

Остановимся подробнее на отдельных составляющих физических процессов самоочищения, относящихся к случаям так называемой «мягкой» активации воды (в терминологии Л.Д. Кисловского). Для студентов специально подчеркиваем, что последовательность изложения дальнейшего материала не связана со степенью важности или первоочередности рассматриваемых процессов. В настоящее время трудно сказать, какие эффекты являются основными, а какие – второстепенными. Подчеркнем лишь тот факт, что многие из рассматриваемых параметров определяются солнечной активностью (подробнее – в источнике [2]).

Среди *составляющих* физических процессов самоочищения авторы выделяют следующие:

*Радиоактивная.* Известно, что все вещества на планете, в т.ч. жидкая вода, находится под постоянным влиянием радиационного фона Земли. Источниками такого фона являются как ионизирующие продукты космического излучения, так и радиоактивные процессы, протекающие в земной коре. По мнению Л.Д. Кисловского, вариации космических лучей можно не принимать во внимание, так как возрастание их интенсивности на уровне моря достаточно редки [2]. Вариации радиационного фона, обусловленные другими естественными причинами (например, излучение базальтов, выходы радона), превышают их по интенсивности. Под воздействием этого фона может происходить радиолиз воды,

особенностью которого является образование частиц с окислительными и восстановительными свойствами, которые взаимно нейтрализуют друг друга или взаимодействуют с примесями воды. Радиоактивный фон является экологически значимым фактором, реально влияющим на физико-химические свойства воды. Так, было замечено [1], что облучение воды в присутствии кислорода является наилучшим способом ее очистки от малых концентраций органических примесей.

*Механическая.* При изучении данной составляющей внимание студентов фиксируется на изменении основных характеристик воды после механических воздействий. Из гидрофизики известно, что движение активно влияет на свойства природных вод, в них возникают зоны нарушенной электронейтральности, часто встречаются области турбулентного перемешивания и кавитационных процессов [1]. Эти явления приводят к изменению физико-химических свойств текущей жидкости. Так, С. Борди и Дж. Папеша отмечали изменение удельной электропроводимости (УЭП) тридистиллята при его механическом перемешивании. Попутно напомним, что УЭП косвенно указывает на степень чистоты воды. Движение жидкости также воздействует на распределение находящихся в ней частиц разной дисперсности. Так, Лимнологическим институтом СО РАН подробно изучен связанный с циркуляциями или вихрями фронтальный механизм самоочищения и самосохранения вод озера Байкал, благодаря которому осуществляется сбор взвешенных и растворенных веществ, их транспортировка в придонные области и уменьшается их контакт с наиболее чистыми глубинными водами. Вопросы изменчивости физико-химических свойств воды при её пространственном перемещении подробно изучались коллективом под руководством В.И. Классена [1]. Им указана необходимость учета магнитного поля Земли, поскольку перемещение воды в специальном стальном экране не приводило к заметным изменениям электропроводимости. Также следует помнить, что бактерии и планктон водных сред чувствительны к изменениям напряженности внешнего магнитного поля, что может изменить ход биологического процесса самоочищения (по наблюдениям С.А. Павловича и В.В. Александрова).

*Электромагнитная.* В рамках этого пункта для начала студентам можно рассказать об оптических явлениях в водных системах, опираясь на учебники гидрофизики [1] и электромагнитную шкалу. Известно, что земная атмосфера благодаря озону пропускает довольно узкий спектр солнечного ультрафиолетового облучения (УФО) в области длины волны 290 нм. Колебания интенсивности УФО особенно существенны на средних и низких широтах [2]. Установленным фактом является то, что под действием УФО происходит обеззараживание воды и химическое разложение антропогенных загрязнений за счет процессов фотоллиза [1].

Воздействие электромагнитных полей (ЭМП) на пресноводные акватории многие годы изучалось Александровым В.В. в ходе длительных экспедиций. Он отмечал, что механическое движение воды в магнитном поле Земли приводит к возникновению электродвижущей силы, величина которой зависит от интенсивности возмущающего фактора. Л.Д. Кисловский относит вариации ЭМП к природной «магнитной» обработке воды, которая, по его мнению, является широко распространенным явлением [2]. Об этом говорят многочисленные прямые опыты. В качестве доказательства особой чувствительности водных растворов к действию ЭМП приводят в пример довольно точную работу штормгласа при прогнозировании погодных условий. Кроме того, в работе [1] подчеркивается, что любая магнитная обработка воды увеличивает скорость распространения в ней ультразвука, повышает ее химическую активность, а также теплопроводность.

*Термическая (тепловая).* Любое изменение температуры сопровождается изменением состояния воды, которое наглядно демонстрируется в природе процессами замерзания-оттаивания. Известно, что разбавление речной воды в летний период холодной талой водой способствует улучшению ее качества. Ведь талые воды отличаются исключительной чистотой в химическом (и часто в бактериологическом) отношении. Формирование и разрушение ледяного покрова определяет годовой ход изменений (максимум зимой и минимум в безледный сезон) концентрации химических веществ в любом водоеме. Процесс выделения

солей во время замерзания повышает концентрацию в сужающемся объеме воды, в то время как таяние ледяного покрова резко уменьшает ее. При оценке экологических условий в водоемах и водотоках все названные превращения рассматриваются разными авторами неоднозначно: как процесс очищения [1] и как возможность самозагрязнения. Кроме того, возникновение и рост ледяного покрова влияет на концентрацию кислорода в незамерзшей части водоема. По данным [3], большая самоочищающая способность реки отмечается там, где она свободна от ледяного покрова из-за поступления тепловых стоков. Следует учитывать и тот фактор, что отсутствие наледных, внутриводных и шуговых льдов благоприятно сказывается на запуске биологических механизмов самоочищения.

Таким образом, кратко охарактеризованы основные составляющие физического процесса самоочищения, которые, как правило, являются экологически значимыми, могут поддаваться регулированию и развиваться в желаемом направлении с помощью инженерных решений. Важно подчеркнуть для студентов перспективность дальнейшей разработки затронутой темы. Перечисленные механизмы позволяют наметить пути восстановления первоначальных свойств и состава воды, а значит, и оздоровления водоемов.

В качестве «выходного» контроля знаний по данной теме можно предложить студентам обсудить в виде письменных или мультимедийных эссе некоторые дискуссионные вопросы. Например, вынести на обсуждение следующие пункты: «Насколько экономически и экологически оправдан перенос доочистки сбрасываемых вод в водный объект?», «В чем причины низкой интенсивности самоочищения конкретного водоема?» или «Примеры инженерной интерпретации существующих в природе механизмов очистки». По последнему вопросу были получены письменные ответы, которые приводятся здесь в сокращенной форме. Студент Д. написал: «Самой первой водоочистной технологией была механическая очистка, которая позволяла удалять относительно крупные (посредством решеток и сеток) и мелкие (отстойники, пруды и песчаные фильтры) частицы. Близким к ней по времени способом водоочистки было кипячение, которое и в настоящее время выполняет целый ряд полезных функций:

обеззараживание, дегазация, осаждение соединений металлов и др. Таким образом, первые технологии базировались преимущественно на физических методах очистки, отчасти взятых человеком из природных наблюдений». Студент П. обратил внимание на успешную биодеструкцию загрязнений: «Биологические методы очистки как достижение науки последних веков быстро завоевало популярность благодаря природным механизмам утилизации нежелательных компонентов. Но организация биоочистки требует серьезных капитальных затрат (дешевле физико-химическая очистка), больших площадей станций очистки (часто десятки гектар) и не избавляет иногда от необходимости, например, дополнительного удаления тяжелых металлов (чаще всего, меди, цинка и железа). Но и здесь можно рассчитывать на природную помощь – высшую водную растительность, которая позволяет задерживать даже такие нежелательные примеси. Это популярное направление стало носить в инженерной практике название биоремедиации». Обучающийся А. затронул интересную тему природных химических реагентов: «Давно были обнаружены полезные химические свойства определенных веществ: добавление в воду простокваши или вина давало некоторый обеззараживающий эффект за счет наличия в этих продуктах кислот (полученных в том числе в результате спиртового и молочнокислого брожения). По мере научного освоения свойств веществ были выделены вещества чисто химического действия: хлор, озон, пероксид водорода и другие. Но эти соединения тоже встречаются в природе: хлор входит в состав вулканических газов, перекись обнаруживают в микроколичествах в дождевой воде, а озон выделяется при грозах». Тот же студент написал о новой волне в сфере водных технологий: «Интенсификация процессов самоочистки в водных объектах на основе светового, радиационного и звукового облучения, воздействия электромагнитным полем позволяет более эффективно, полно и качественно проводить очищение вод в наши дни. Это не требует высоких эксплуатационных затрат и весьма перспективно (комплексная очистка от нескольких загрязнителей), но еще не хватает теоретической базы, проектирование таких устройств во многом идет «на ощупь», опытным путем». Как видим из приведенных фрагментов текста, студенты не



забывают учитывать в своих ответах роль экономических и экологических факторов, что можно считать достаточным уровнем освоения курса КИВР.

Следует не забывать и о межпредметных связях указанной дисциплины. Согласно учебным планам ДВГУПС, изучение КИВР предшествует преподаванию большого курса «Очистка природных и сточных вод», поэтому важно правильно обеспечить перенос специальных знаний между указанными смежными дисциплинами. Такой плавный переход и преемственность курсов можно организовать с помощью командной работы студентов по заполнению предложенной табличной формы (см. табл. 1). Этот сводный документ должен помочь в запоминании некоторых сложных физических вопросов самоочищения водоемов и в подведении итогов на заключительном занятии по теме. Также содержание таблицы 1 показывает, какую инженерную интерпретацию получили природные факторы в отношении методов очистки воды. Дополнительно следует заметить, что таблица 1 всегда открыта для заполнения (это не застывшая форма), в ней можно указать другие физические факторы, расширить список внесенных достоинств и недостатков, или ввести новые столбцы (например, дать схемы соответствующих водоочистных установок, выделить технико-экономические показатели технологий). Некоторым студенческим командам можно предложить рассмотреть комбинированное действие нескольких физических факторов сразу, т.е. сознательно пойти на усложнение группового задания. В частности, для целей обеззараживания считается эффективным сочетание ультразвукового и ультрафиолетового воздействия на воду.

## Инженерные решения на основе эффектов физической активации водных сред

Основной тип воздействия	Место первого внедрения или упоминания	Достоинства	Недостатки
УФ-облучение	Впервые применено для дезинфекции воды в Марселе в 1910 году	отсутствие надобности в химических реагентах для обеззараживания воды; нет побочных продуктов химических реакций; не влияет на вкус и запах воды	требуется низкое содержание взвешенных веществ в воде (часто нужна предварительная очистка); микроорганизмы не уничтожаются, а только деактивируются
Воздействие солнечного света (технология SODIS - Solar water disinfection)	Идея предложена в 1984 году в буклете ЮНИСЕФ для обеззараживания бутилированных вод в странах «третьего мира» [7]	образование под воздействием света естественных обеззараживателей: синглетного кислорода и пероксида водорода; термическое усиление обеззараживания	жесткие требования к параметрам солнечного излучения и невозможность устранения из вод опасных химических элементов
Ультразвуковое облучение (25–200 кГц)	Е. Newton Harvey и Alfred L. Loomis в 1920-е показали эффективность обеззараживания воды, превосходящую кипячение. В 1949 году – первое применение при стирке	возможность осуществления дегазации вод; доказано разрушение сложных молекул загрязнителей до более простых составляющих; ускорение течения химических процессов, сорбции	не обеспечивает полную стерилизацию; относительно высокая энергозатратность метода; безопасные для человека дозы и интенсивности не ясны [1]
Магнитная обработка (с индукцией до 1–2 Тл)	В 1873 году в США запатентована установка, очищающая воду для бойлеров от примесей на основе магнитного воздействия [6]	усиление эффекта коагуляции; удаление взвешенных намагничиваемых частиц; метод имеет высокую эффективность в отношении накипеобразующих соединений; получен хороший результат при удалении радионуклидов	техническая сложность и дороговизна организации магнитной очистки на наиболее эффективных (сверхпроводниковых) установках; воспроизводимость результатов вызывает споры и сомнения у ученых [1]

Как видим из таблицы 1, на практике используется несколько технологий физической активации воды, каждая из которых обладает определенными достоинствами или недостатками. Показатели качества природных вод и условия их

очистки настолько индивидуальны, что оптимальными в отдельных конкретных случаях могут оказаться не только более современные технологии, но и те, которые применяются многие десятилетия и по названному формальному признаку считаются устаревшими.

Анализ, проведенный в данной статье, позволяет в новом и нетрадиционном ракурсе увидеть роль физических процессов в самоочищении водных объектов. Остается надеяться, что использование авторских наработок станет доброй учебной традицией, активизирует работу студентов над изучаемым предметом, будет содействовать уяснению сложных вопросов курса КИВР и овладению его исследовательским аппаратом, вызовет у них желание творчески и самостоятельно работать в области охраны водных ресурсов.

### *Список литературы*

1. Антонченко В.Я. Основы физики воды / В.Я. Антонченко, А.С. Давыдов, В.В. Ильин. – Киев: Наукова думка, 1991. – 672 с.
2. Владимирский Б.М. Солнечная активность и биосфера / Б.М. Владимирский, Л.Д. Кисловский. – М.: Знание, 1982. – 64 с.
3. Синельников В.Е. Механизм самоочищения водоемов / В.Е. Синельников. – М.: Стройиздат, 1980. – 111 с.
4. Сметанин В.И. Восстановление и очистка водных объектов / В.И. Сметанин. – М.: КолосС, 2003. – 157 с.
5. Экологическая повестка: за десять месяцев до выборов в Госдуму: аналитические доклады ВЦИОМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wciom.ru/analytical-reports/analiticheskii-doklad/ehkologicheskaja-povestka-za-desjat-mesjacev-do-vyborov-v-gosdumu> (дата обращения: 22.05.2021).
6. Ambashta R., Sillanpää M. Water purification using magnetic assistance: a review. *Journal of Hazardous Materials*, 180. 2010. P. 38–49.
7. Byrne J., Dunlop P., et al. Photocatalytic Enhancement for Solar Disinfection of Water: A Review. *International Journal of Photoenergy*. Volume 2011, 12 pages.