

# Комплексный акустический метод повышения эффективности водоподготовки

**С.А. БАХАРЕВ<sup>1</sup>,**  
**Д-Р ТЕХН. НАУК, ПРОФ.,**  
**ДЕЙСТВ. ЧЛ. РАЕН**

---

Обсуждается проблема качественной подготовки питьевой воды, отобранной из поверхностных источников водоснабжения. Известно, что во многих регионах РФ даже основные параметры питьевой воды не соответствуют санитарно-эпидемиологическим нормативам, что снижает качество и продолжительность жизни людей. Также проблему создает то, что недостаточно хорошо очищенные промывные воды сбрасываются в природные водотоки, и не эффективные рыбозащитные устройства не обеспечивают защиту оголовков водозаборов от попадания рыб, в том числе, молоди.

Описан разработанный автором комплексный акустический метод повышения эффективности и экономичности водоподготовки, который позволяет использовать оборудование одновременно для решения несколько разноплановых задач. Приведены некоторые результаты применения описанного комплексного акустического метода в Российской Федерации и за рубежом.

---

В настоящее время в РФ оборудование многих предприятий водоподготовки морально и физически устарело. В результате даже основные параметры (мутность и др.) питьевой воды зачастую не соответствует санитарно-эпидемиологическим нормативам [1], что, в конечном итоге, снижает качество и продолжительность жизни людей. Актуальность проблемы возрастает в связи с необходимостью одновременного (с подготовкой питьевой воды) решения экологических (качественная очистка промывных вод станций водоподготовки, сбрасываемых в реки)

и природоохранных (эффективная защита оголовков водозаборов от попадания рыб, в том числе, молоди) задач [1–5], которые, к сожалению, практически всегда решаются по «остаточному» принципу. Более того, во многих южных регионах РФ (например, в Астраханской и в Ростовской областях) и за рубежом (например, в Республике Корея и в Испании) приходится одновременно решать и четвертую задачу – защиту оголовков водозаборов, самотечных труб и приемных камер водозаборных колодцев от биообрастания (моллюском дрейсена и др.).

---

<sup>1</sup> Контакты: e-mail: taf@list.ru

Решение всех перечисленных проблем при водоподготовке возможно на основе использования методов и средств акустики [4–6] и нелинейной гидроакустики [6, 7], в частности. При этом речь идет об использовании специальных устройств (генераторов сигналов и т.д.), обладающих высоким энергетическим потенциалом и обеспечивающих в трехфазной водной среде (содержащей минеральные и биологические примеси, а также различные газовые включения) формирование различных нелинейных эффектов (акустическую кавитацию и т.д.) в диапазоне частот от десятков Гц до десятков кГц [4, 6, 7].

Следует отметить, что акустические методы и средства, основанные на принципах нелинейной акустики, в последние два десятилетия активно используются в процессе изучения Мирового океана, при освоении его богатств (в морской геофизике, в промышленном рыболовстве и т.д.) в медицине, в военно-морской деятельности и т.д. [4, 6, 7].

Акустическое осветление воды происходит за счет использования следующих физических механизмов [5, 8]:

- под воздействием акустических волн более подвижные и менее массивные тонкодисперсные частицы размером менее 5 мкм, сталкиваются с менее подвижными и более массивными среднелдисперсными частицами размером 5–25 мкм. При этом благодаря акустической энергии преодолевается отталкивающее воздействие одноименных поверхностных зарядов частиц (акустическая кавитация). Вновь образованные крупнодисперсные частицы гораздо быстрее выпадают в осадок;

- под воздействием акустических волн, распространяющихся сверху вниз, исход-

ные и вновь образованные частицы из верхнего слоя воды перемещаются в средний слой воды, или (и) непосредственно в придонный слой отстойника;

- под воздействием акустических волн, распространяющихся вдоль дна, происходит уплотнение осадка, который в дальнейшем не разрушается под воздействием внешних факторов. Для примера на рис. 1 иллюстрируется изменения распределения диаметров исходных и акустически коагулированных частиц в пробах, отобранных из горизонтальных отстойников одного из очистных сооружений в Архангельской области (данные автора).

Как видно на рис. 1 под воздействием акустических волн происходит физическое увеличение (в 2,5–3 раза) среднего диаметра исходных частиц (с 2,5 мкм до 6,5 мкм). На рис. 2 показан внешний вид илесто-глинистого осадка, формируемого за месяц на верхней защитной крышке гидроакустического излучателя ЦГИ-ШНЧ, размещенного на горизонте 2 м от поверхности воды в камере водоприемного колодца одного из предприятий водоподготовки в Астраханской области.

Как видно на рис. 2 под воздействием акустических волн в камере водоприемного колодца происходит акустическая коагуляция минеральных и биологических примесей.

Акустическое обеззараживание воды происходит как следствие кавитационных процессов в жидкости в соответствии со следующими физическими механизмами [5–8]:

- в момент схлопывания кавитационной каверны давление и температура газа локально могут достичь 100 МПа и 10 000 °С. Выделяющейся энергии достаточно для воз-

**Рис. 1.**  
Типовые размеры исходных (кривая 1) и акустически коагулированных (кривая 2) частиц

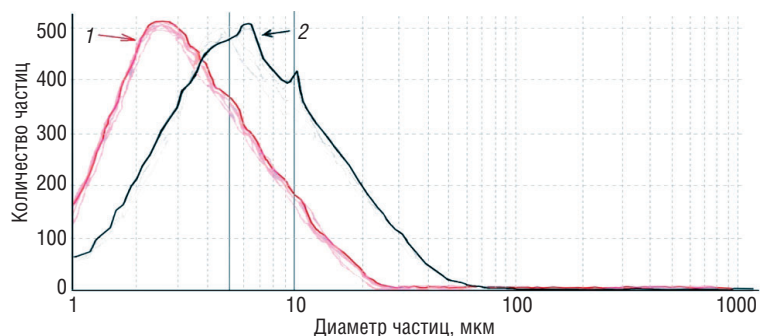




Рис. 2. Водоприемный колодец с гидроакустическим излучателем и глинисто-иловой смесью на его верхней крышке: а) общий вид; б) детальный вид

буждения, ионизации и диссоциации молекул воды, газов и веществ с высокой упругостью пара внутри кавитационной полости;

- бактерицидное действие пероксида водорода и радикалов ОН, которые образуются при диссоциации молекул воды в кавитационных образованиях.

Акустическая защита оголовков водозаборов от попадания рыб (в том числе, молоди рыб), работает следующим образом: в водную среду по закону случайных чисел излучают интенсивные гидроакустические сигналы, оказывающие разнообразное воздействие: информационное (например, звуки хищника), энергетическое ( дезориентирующие рыб), высокоградиентное (воздействующие на воздушные полости у рыб) и биорезонансное (воздействующие на живые клетки рыб).

Акустическое противодействие биообразателям осуществляется следующим образом:

- создание акустическими полями дискомфортных условий для питания и размножения биообразателей в водной акватории (водозаборы ковшового типа);

- акустическое уничтожение (посредством полного разрушения газовых вакуолей) одной части биообразателей и обездвиживание другой части биообразателей;

- акустическое удаление («стряхивание») биообразателей с внутренних поверхностей самотечных труб.

Акустическую очистку зернистого фильтрующего материала (ЗФМ) насыпных фильтров осуществляют следующим образом:

- гидроакустические излучатели заранее устанавливают (зарывают в ЗФМ) на среднем горизонте ЗФМ в геометрических центрах обеих секций насыпного фильтра;

- после начала промывки насыпного фильтра акустическими сигналами осуществляют отделение примесей от ЗФМ (акустическую дезинтеграцию агломератов, образовавшихся в ходе фильтрации);

- после окончания промывки ЗФМ излучение акустических сигналов прекращают.

Использование совокупности рассмотренных воздействий позволило создать комплексный акустический метод (КАМ), который может одновременно и с помощью одного и того же набора акустического оборудования решать разноплановые задачи [5–8]. При этом не требуется производить глубокую модернизацию существующих очистных сооружений, а процесс их усовершенствования заключается лишь в установке в определенных местах гидроакустических излучателей и цифровых усилителей мощности, изготавливаемых в РФ мелкими сериями с 1999 г.

В табл. 1 представлен состав и указаны места установки акустического оборудования (условные «акустические рубежи») на примере станции водоподготовки производительностью 20 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

В табл. 2 представлены весовые и габаритные характеристики всех типов гидроакустических излучателей и цифровых усилителей мощности, используемых в процессе реализации метода КАМ.

**Таблица 1**

**Состав и места установки акустического оборудования для станции водоподготовки производительностью 20 тыс. м<sup>3</sup>/сут.**

№ п/п	Место установки оборудования	Решаемые задачи	Состав приборов
1.	Оголовок водозабора	Вытеснение рыб (в том числе, молоди рыб); уничтожение или обездвиживание биообратателей (моллюсков дрейсену); уничтожение части болезнетворных бактерий, попавших с водой в оголовок; физическая коагуляция части примесей, попавших с водой в оголовок; изменение траектории движения примесей в потоке воды в районе оголовка	2 излучателя ПГИ-ШНЧ и 1 усилитель ДЦУМ-2хЗДБС
2.	Водоприемный колодец	Вытеснение рыб (в том числе, молоди рыб) через самотечную трубу; уничтожение или обездвиживание биообратателей; уничтожение части болезнетворных бактерий; физическая коагуляция части примесей; осаждение части примесей	1 излучатель ПГИ-ШНЧ, 1 излучатель ЦГИ-ШНЧ и 2 усилителя ОЦУМ-1х6БС
3.	Двухкамерный смеситель	Уничтожение или обездвиживание биообратателей; уничтожение части болезнетворных бактерий; физическая коагуляция части примесей; осаждение части примесей	2 излучателя ЦГИ-ШСЧ и 1 усилитель ДЦУМ-2хЗДБС
4.	Четыре блока осветлителей (12 камер)	Физическая коагуляция примесей; принудительное осаждение исходных и ранее физически коагулированных примесей; уплотнение осадка	12 излучателей ЦГИ-ШВЧ и 3 усилителя ДЦУМ-2хЗДБС
5.	Четыре блока фильтров (8 камер)	<i>Качественная, ускоренная и с минимальными затратами (воды, электроэнергии и времени) промывка насыпного материала фильтров</i>	<i>8 излучателей «СГИ-ШСЧ» и 2 усилителя ДЦУМ-2хЗДБС</i>
6.	Два отстойника для промывных вод	<i>Физическая коагуляция механических примесей, принудительное осаждение исходных и акустически коагулированных примесей, акустическое уплотнение осадка</i>	<i>2 излучателя ПГИ-ШНЧ и 1 усилитель ДЦУМ-2хЗДБС</i>
7.		Итого:	28 излучателей и 10 усилителей

**Примечание:** курсив – дополнительные опции;

энергопотребление одного усилителя с соответствующим излучателем – 300 Вт/час (итого для 10 усилителей и 28 излучателей – 3 кВт/ч). Как видно из табл. 1, метод КАМ способен внести вклад в решение трех важнейших задач, стоящих перед системами водоподготовки:

1) повышение качества и продолжительности жизни населения данного региона: путем подготовки более качественной питьевой воды за счет дополнительного уменьшения мутности и цветности воды, а также остаточного содержания алюминия в ней (в случае применения химических реагентов на основе сернокислого алюминия), дополнительного уменьшения (или полного исключения) количества болезнетворных бактерий;

2) уменьшение сбросов загрязнений в окружающую среду: путем повышения качества очистки промывных вод, в том числе, в интересах их повторного использования для промывки фильтров, а также качества утилизации осадка;

3) сохранения биоразнообразия в водном объекте: путем повышения эффективности защиты оголовка водозабора от попадания в него рыб (в том числе, молоди рыб): за счет заблаговременного вытеснения рыб от оголовка водозабора. На рис. 3 показан внешний вид основных типов используемых в процессе реализации метода КАМ усилителей мощности с блоками согласования (рис. 3а), а также широкополосных низкочастотных (рис. 3б) и широкополосных высокочастотных (рис. 3в) гидроакустических излучателей ЦГИ-ШНЧ и ЦГИ-ШВЧ, обеспечивающих воспроизведение, усиление и излучение специально синтезированных сигналов (ранее записанных на цифровые носители информации) в диапазоне частот от 200 Гц до 20 кГц.

**Таблица 2**

**ВЕСОГАБИРИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ И УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ**

№ п/п	Наименование прибора	Габариты, мм	Масса, кг
1.	Гидроакустический излучатель «ПГИ-ШНЧ»	500×400×400	30
2.	Гидроакустический излучатель «ЦГИ-ШНЧ»	450×300	20
3.	Гидроакустический излучатель «ЦГИ-ШВЧ»	250×150	10
4.	Усилитель мощности «ОЦУМ-1×6БС»	600×500×350	18
5.	Усилитель мощности «ДЦУМ-2×ЗДБС»	600×500×350	18





**Рис. 3. Внешний вид усилителей мощности и гидроакустических излучателей: а) цифровые усилители мощности; б) низкочастотный излучатель ЦГИ-ШНЧ в термощкафу в водоприемном колодце; в) высокочастотный излучатель; г) высокочастотные излучатели ЦГИ-ШВЧ в блоке осветителей**

Акустические приборы (гидроакустические излучатели и усилители мощности), используемые в процессе реализации метода КАМ, отличаются незначительными весогабаритными характеристиками. Промышленные испытания различных акустических способов (в частности, защиты оголовков от рыб, защиты самотечных труб от биообрастателей, коагуляции минеральных и биологических примесей, принудительного осаждения исходных и ранее коагулированных примесей, уплотнения осадка, обеззараживания воды и др.), входящих в состав комплексного акустического метода КАМ, проводились в России (Приморский и Камчатский края, Архангельская, Астраханская и Ростовская области) и за рубежом (в Республике Корея, в Республике Вьетнам, в Испании и во Франции) в период с июня 1999 г. по сентябрь 2018 г.

Проанализируем, для примера, результаты некоторых промышленных испытаний отдельных акустических модулей, проведенных в последние 2 года на территории РФ.

На примере конкретной станции водоподготовки с производительностью 20 тыс. м<sup>3</sup>/сут. в Астраханской области. Минимальная конфигурация акустического оборудования, позволяющего вытеснять рыб (в том числе, молодь рыб) от оголовка водозабора через самотечную трубу и улучшить освещение воды, требует использования одного крупногабаритного гидроакустического излучателя «ПГИ-ШНЧ», жестко установленного в камере водоприемного колодца на горизонте самотечной трубы, и 12 (по числу камер 4-х блоков осветления) малогабаритных гидроакустических излучателей «ЦГИ-ШНЧ», подвешенных на среднем горизонте каждой из камер 4-х блоков осветления, и 4-х цифровых усилителей мощности с блоками согласования, установленных в малогабаритных термощкафах в непосредственной близости от соответствующих гидроакустических излучателей. Суммарные капитальные затраты на данный набор оборудования, включая его приобретение, доставку и монтаж, составляют около 6 млн руб., а суммарный расход электроэнергии на их работу – всего около 1,2 кВт/час. Как

показала опытно-промышленная эксплуатация данного комплекта акустического оборудования, проводимая с апреля 2017 г. по сентябрь 2018 г., была обеспечена 100 % защита оголовка водозабора от рыб (в том числе, от молоди рыб) и уменьшение мутности воды на выходе блока осветлителей на 20–30 %, без использования химических реагентов в период с октября по апрель. В случае применения химических реагентов (на основе сернокислого алюминия) в период с мая по сентябрь обеспечено: уменьшение мутности воды на выходе блока осветлителей на 30–40 % и уменьшение остаточного содержания алюминия в ней на 30–40 % при неизменном расходе химических реагентов. Испытания возможности уменьшения расхода химических реагентов с использованием метода КАМ при обеспечении того же качества питьевой воды, были проведены на данной станции водоподготовки в апреле–мае 2017 г. В ходе испытаний весь расход обрабатываемой воды подвергался 2-х кратной акустической обработке: сначала в камере 2-х секционного железобетонного колодца (диаметром ~6 м и глубиной подземной части ~10 м), а затем – в камерах (размером 10,5×9 м) блока осветлителей коридорного типа (скорость восходящего потока 0,3–1,0 мм/сек, выпуск шлама – 1 раз в сутки). В табл. 3 представлены результаты

сравнительных испытаний по расходу химических реагентов в аналогичные периоды (апрель и май) 2016 г. (без использования акустического оборудования) и 2017 г.

Как видно из табл. 3, снижение расхода реагента было более 5 раз как в апреле 2017 г., когда исходная мутность воды в реке оказалась в 2 раза ниже, чем в прошлом году, так и мае 2017 г., когда эти величины были сопоставимы. В 2016 г. на данном предприятии было затрачено 1,26 млн руб. на приобретение 64 т коагулянта – сернокислого алюминия (ГОСТ 12966-85). В период углубленного тестирования метода КАМ в 2006 г. и на одной из станций водоподготовки (производительностью 800 000 м<sup>3</sup>/сут.) г. Сеула (Республика Корея) удалось снизить средний расход химических реагентов в 7,3 раза, как при средней концентрации взвешенных веществ в реке: 20 мг/л – в сухой сезон, так и 200 мг/л – в сезон дождей. При этом в 2005 г. расход химических реагентов (в виде раствора) составлял: около 30 мг/л при концентрации взвеси ~20 мг/л и около 300 мг/л при содержании взвешенных веществ ~200 мг/л. Экономия затрат на реагенты составила по сравнению с 2005 г. свыше 17 млн долларов. В качестве еще одного примера в табл. 4 представлены результаты промышленных испытаний метода КАМ, проведенных на предприятии водоподготовки в Астраханской области,

**Таблица 3**  
**Влияние акустической обработки методом КАМ на расход коагулянта на станции водоподготовки**

Период	Средние параметры			
	Мутность воды, забираемой из реки, мг/л	Мутность подаваемой питьевой воды, мг/л	Суммарный расход реагента, кг	Снижение расхода реагента, разы
Без применения метода КАМ				
Апрель 2016	9,8	1,50	2764,0	—
Май 2016	17,2	1,43	10 479,0	—
С применением метода КАМ				
Апрель 2016	4,8	1,22	524,0	5,3
Май 2016	13,4	1,37	1827,0	5,7

**Примечание:** акустическое воздействие на воду, отобранную из реки: осуществляют в водоприемном колодце и во всех блоках осветления

направленных на уменьшение остаточного содержания алюминия в питьевой воде. При этом необходимо обратить внимание на важный аспект – производительность водоподготовки на данном предприятии в течение суток изменяется в 3–4 раза. Данное обстоятельство, на фоне резких (в течение нескольких часов) и существенных (до 2-х раз) изменений мутности воды в реке, приводит в летнее время к ухудшению качества питьевой воды.

Как видно из табл. 4, мутность воды на выходе испытуемого отстойника уменьшилась, в среднем, на 27 %, а остаточное содержание алюминия в ней – на 37 %.

Говоря об эффективности акустической защиты оголовков водозаборов от рыб (в том числе, от молоди), необходимо отметить, что на всех 3-х предприятиях (два – в Астраханской области и одно – в Архангельской области) в период опытно-промышленной эксплуатации акустического оборудования (с апреля 2017 г. по настоящее время – на одном из предприятий в Астраханской области, с мая 2018 г. по настоящее время – на двух других предприятиях), рыб (в том числе, молоди) в приемных камерах водоприемных колодцев, в смесителях или на фильтрах отмечено не было, тогда, как до начала испытаний такие факты отмечались.

На всех объектах отмечался сопутствующий эффект – акустическое обеззараживание (от 40 % и выше) по бактериологическим показателям качества воды в водоприемном колодце при размещении только одного (направленного в самотечную трубу) гидроакустического излучателя ПГИ-ШНЧ. Были отме-

чены случаи, когда обработанная звуком вода вообще не содержала бактериологических загрязнений. Для примера в табл. 5 представлены результаты акустического обеззараживания воды (сопутствующий эффект) в водоприемном колодце на одной из станций водоподготовки в Астраханской области.

Как видно из табл. 5, в камере водоприемного колодца происходит акустическое обеззараживание воды (сопутствующий эффект). При этом необходимо отметить, что (строка № 2 табл. 1) автором метода КАМ рекомендуется использовать и второй (ненаправленный) гидроакустический излучатель ЦГИ-ШНЧ, расположенный на среднем горизонте водоприемного колодца. В этом случае существенно (на 30 % и более) повышается эффективность коагуляции ВВ, обеззараживания воды и физического уничтожения биообратателей.

В табл. 6 представлены результаты промышленных испытаний метода КАМ по уничтожению диатомовых водорослей в районе оголовка водозабора предприятия водоподготовки г. Пусан (Республика Корея, 2006 г.).

Следует заметить, что по данным промышленных испытаний, проведенных в Республике Корея в 2005–2007 гг., средняя эффективность уничтожения диатомовых водорослей составляет 90 % в радиусе 1 м от гидроакустического излучателя ЦГИ-ШНЧ, развиваемого на своей оси акустическое давление в 10 кПа на частоте 10 кГц. То есть, для решения данной проблемы необходимо задействовать несколько гидроакустических излучателей, обладающих высоким энергетическим потенциалом.

**Таблица 4**  
**Показатели качества воды**

Период	Средние параметры				
	Мутность воды, забираемой из реки, мг/л	Мутность воды на выходе отстойника, мг/л	Снижение мутности воды, %	Остаточное содержание АI в воде, мг/л	Снижение остаточного содержания АI в воде, %
Без применения метода КАМ					
Май 2018	21,2	17,0	—	0,7	—
С применением метода КАМ					
Июнь 2018	22,5	12,3	27	0,45	36,7

**Примечание:** акустическое воздействие на воду, отобранную из реки: осуществляют в водоприемном колодце, в смесителе и в испытуемом отстойнике.

**Таблица 5**  
**РЕЗУЛЬТАТЫ АКУСТИЧЕСКОГО ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ В ВОДОПРИЕМНОМ КОЛОДЦЕ**

Точка отбора / Показатели	ОМЧ КОЕ в 1 мл	ОКБ КОЕ в 100 мл	ТКБ КОЕ в 100 мл	ССК число спор в 20 мл
До акустического воздействия	73	12	Не обнаружено	Не обнаружено
После акустического воздействия	44	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
Разница (%)	29 (39,72 %)	12 (100 %)	нет	нет

**Примечание:** ССК – споры сульфоредактирующих клостридий.

**Таблица 6**  
**РЕЗУЛЬТАТЫ УНИЧТОЖЕНИЯ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ**

Период	Количество водорослей, млн.шт./см <sup>3</sup>			Изменение количества водорослей, %	
	Общее	В том числе живых	В том числе мертвых	Уменьшение количества живых	Увеличение количества мертвых
	Без	применения	метода	КАМ	
Май 2006	23,9	19,5	4,4	—	—
	С	применением	метода	КАМ	
Май 2006	24,1	13,0	11,0	33	154

Таким образом, метод КАМ позволяет одновременно и помощью одного и того же комплекта оборудования решать несколько разноплановых задач. Автор метода готов осуществлять работы по оптимизации сооружений водоподготовки и поставлять акустическое оборудование без предварительной оплаты, с оплатой после получения параметров эффективности, оговоренных контрактом. ●

## Литература

- СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – М., 2001.
- Николадзе Г.И., Сомов М.А. Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1995, 378 с.
- Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно-допустимых концентраций и ориентировочно-безопасных уровней воздействия вредных веществ для воды и водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. – М.: ВНИРО, 1999, 304 с.
- Урик Р. Дж. Основы гидроакустики. – Л.: Судостроение, 1978, 347 с.
- Бахарев С.А., Максимова И.С. Новая технология безреагентной очистки воды от взвешенных веществ. – Всерос. НТК «Сохранение биоразнообразия Камчатки». – П-Камчатский: КИГ, 2005, с. 25–28.
- Зарембо Л.К., Красильников В.А. Введение в нелинейную акустику. – М.: Наука, 1966, с.124–133.
- Бахарев С.А., Рогожников А.В. Перспективы развития гидроакустических средств гражданского назначения, в том числе с использованием методов нелинейной акустики. – Труды Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». – СПб, 2012, с. 30–33.
- Бахарев С.А. Результаты использования акустического метода очистки сточных вод от взвешенных веществ в бассейне нерестовых рек Камчатки. – Вестник XXI. Разведка, добыча, переработка полезных ископаемых / под общ. ред. В.Ж. Аренса. – М.:Интермет Инжиниринг, 2007, с. 43–46.