

*Н.А. Нестеров, В.И. Кокорин*

## **СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОДЫ ИЗМЕРЕНИЕМ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА**

*N.A. Nesterov, V.I. Kokorin*

## **THE METHOD FOR DEFINITION OF WATER POLLUTION WITH MEASURE SPEED OF SOUND**

*Скорость распространения звука в воде зависит от ее гидрофизических и гидрохимических характеристик. Для определения загрязненности воды может быть предложен способ использующий эту прямую зависимость.*

*Ключевые слова: экологическая безопасность, скорость звука, температура воды, загрязнение воды.*

*Speed of sound in water depends on its hydrophysical and hydrochemical characteristics. For definition of water pollution can be offered the method of using this direct relationship.*

*Key words: environmental security, sound speed, water temperature, water pollution.*

Пресная вода один из важнейших источников жизни на суше. Ее чистота — залог гармоничного существования флоры и фауны планеты. Качество воды в ряде регионов за последние десятилетия значительно ухудшилось и продолжает ухудшаться. В основном это связано с возросшей антропогенной нагрузкой на пресные водоемы. Промышленные и сельскохозяйственные предприятия, транспорт вносят огромный вклад в загрязнение рек и озер различными токсичными и нетоксичными веществами.

В последние годы значительно активизировались мероприятия по обеспечению экологической безопасности, охране и рациональному природопользованию водных ресурсов. Реализация этих мер предполагает проведение экологического мониторинга водоемов. И поэтому решению данной проблемы уделяется большое внимание.

Как отмечается в [1], основные показатели физико-химического состава озерных вод можно условно объединить в 5 групп.

Первая группа — наиболее консервативные компоненты, на которые практически не влияют внутриводоемные процессы, это ионный состав и общая минерализация воды. В качестве косвенного индикатора изменчивости общей минерализации используется электропроводность воды, поскольку между этими характеристиками существует прямая линейная зависимость.

Ко второй группе относятся так называемые «питательные вещества» — биогенные элементы. Они присутствуют в воде в виде неорганических и органических соединений. В эту группу входят фосфор, азот и кремний, при этом главенствующую роль играют соединения фосфора. Пространственно-временные особенности распределения и режим этих веществ определяются неоднородностью поступления их с водосбора,

гидрофизической структурой, интенсивностью биохимических и биологических процессов, происходящих в водоеме.

Третья группа компонентов тесно связана с жизнью озера, режим их определяется как гидрологическими факторами, так и биологической жизнью водоема. К ним относятся содержание в воде органического углерода, значение рН, кислородный режим водоема

К четвертой группе относятся соединения металлов (железо, марганец, алюминий, медь, кобальт и др.), концентрация которых в воде водоема определяется неоднородностью поступления их с водосбора, что связано с ландшафтными условиями территории и антропогенными факторами, а также происходящими в озере внутри водоемными процессами.

Пятая группа включает загрязняющие вещества, не свойственные природе водоемов. Они поступают с водосборного бассейна со сточными водами промышленных и сельскохозяйственных предприятий, от водного и наземного транспорта, а также являются вторичным продуктом распада в результате биохимических процессов. Сюда можно отнести нефтеуглеводороды, фенолы, лигносульфонаты, соли тяжелых металлов, хлорорганические соединения и др.

В настоящее время разработаны и применяются целый ряд контактных и бесконтактных способов определения физико-химического состава водоемов и измерения загрязненности воды (нейтронно-активационный, рентгеноспектральный, атомно-абсорбционный и атомно-эмиссионный анализ, спектрофотометрический и флуориметрический методы, инфракрасная спектрометрия и т.п.) [2]. Учитывая, что скорость распространения звука в воде зависит от ее гидрофизических и гидрохимических характеристик, способ определения загрязненности воды измерением скорости звука в ней может быть предложен в качестве одного из них.

Очевидным преимуществом данного подхода является возможность оперативного определения скорости звука прямым способом (по измерению промежутка времени прохождения акустического луча определенного расстояния) *in situ* и тем самым оперативно устанавливать факт загрязнения данного участка водоема. По мере накопления статистического материала по данным измерениям может использоваться и относительный способ определения загрязненности (по измерению поправок за счет разности скорости звука, электропроводности и плотности воды с применением соответствующих эмпирических зависимостей).

Как известно, скорость звука в воде ( $c$ ) зависит от температуры, ее состава (наличия в ней различных химических элементов и примесей) и плотности. И может быть измерена как непосредственно, так и рассчитана по эмпирическим формулам, представляющим собой зависимости вида [2]:

$$c = c_0 + \Delta C_T + \Delta C_S + \Delta C_P + \Delta C_{TSP}, \quad (1)$$

где  $c_0$  — опорное значение скорости звука при  $T = 0^\circ\text{C}$ ,  $S = 35\text{‰}$ ,  $P = 9,806\text{ Па}$ ;  $\Delta C_T$ ,  $\Delta C_S$ ,  $\Delta C_P$ ,  $\Delta C_{TSP}$  — поправки за температуру, соленость, давление и совместное влияние температуры, солености и давления.

Наибольшее влияние на изменение скорости звука оказывает температура воды. В [2] отмечается, что при изменении температуры на  $1^\circ\text{C}$  при температуре воды  $10^\circ\text{C}$

скорость звука изменяется на 3,6 м/с, при температуре 15°С изменяется на 3,2 м/с. В то же время изменение солёности на 1 ‰ (при  $S = 30...35$  ‰) вызовет изменение скорости звука на  $1,40 \pm 0,01$  м/с; изменение давления на 10 м глубины вызывает изменение скорости звука на  $0,165...0,185$  м/с.

Вероятно, изменение состава и плотности воды вызванное ее загрязнением приведет к изменению скорости распространения звука в ней.

Измерив одновременно при одной и той же температуре скорость звука в какой-либо точке водоема и в образцовой пробе прямым способом и получив некоторую разность показаний, можно с определенной степенью вероятности предположить отличие в составе (минерализации) и плотности исследуемых проб воды.

Задача исключения влияния изменения температуры при проведении измерений, может быть решена одновременным измерением скорости распространения звука при одних и тех же условиях (при одинаковой температуре и давлении) в образцовой (незагрязненной) пробе и в определяемой на загрязнение воде. Практически, это означает измерение скорости звука, температуры и в одной точке устройством, имеющим два одинаковых датчика — измерителя скорости звука (с термометром), один из которых помещен в резервуар с образцовой (эталонной) пробой, другой непосредственно в воду (рис. 1). Измерение температуры необходимо поскольку ее влияние на скорость звука в воде при различных значениях варьируется. Как правило, современные измерители скорости звука оснащены датчиками температуры.

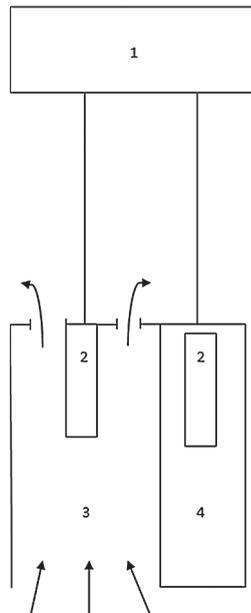


Рис. 1. Устройство для определения загрязнения водоема:

1 — вычислительное устройство обеспечивающее прием, обработку, регистрацию и отображение данных; 2 — датчики скорости звука; 3 — открытый резервуар; 4 — резервуар с эталонной (незагрязненной) водой

Другой важной задачей, требующей решения для реализации данного способа, является выбор или нахождение образцовой (эталонной) пробы воды для каждого конкретного водоема. Если для морской воды таким эталоном служит «нормальная вода», то для конкретных пресных водоемов возникает необходимость поиска незагрязненной воды непосредственно в самих водоемах или приготовления таких проб по известным описаниям состава воды этих водоемов. В общем, варианты выбора образцовой воды должны определяться для каждого конкретного случая и конкретных условий.

Например, в Ладожском озере в качестве эталонной, по-видимому, можно будет брать пробы воды в центральной или северной частях озера, практически не загрязненных в настоящее время.

В зависимости от цели исследований технология измерений указанным способом может варьироваться. Так для обследования загрязненности какого-либо участка водоема возможно проведение замеров в узлах равномерной или неравномерной сети измерений расположенной по исследуемому водоему (рис. 2).

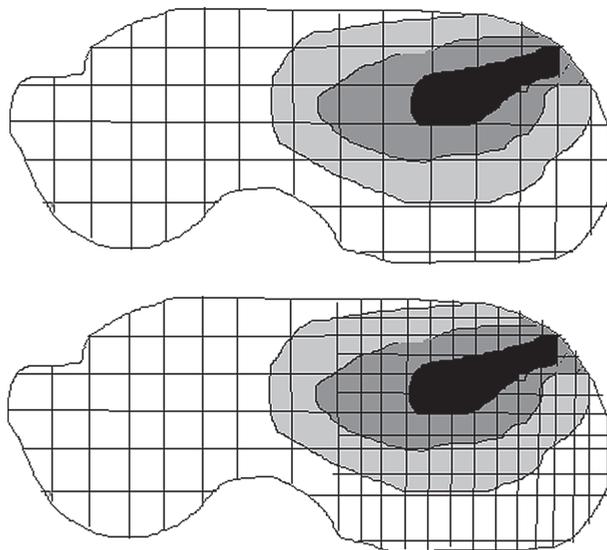


Рис. 2. Схемы равномерной и неравномерной сетей измерений

Если предположительно или точно известно место источника загрязнения, то целесообразно сгущение сети измерений у этого источника с последующим разрежением сети по мере удаления от него. Для определения степени загрязнения воды каким-либо промышленным или сельскохозяйственным предприятием возможна организация сравнительного контроля проведением замеров у водозабора и у водоотведения данного предприятия.

Рассматривая величину погрешности данного способа и полагая, в первом приближении, измеряемые скорости звука в исследуемой воде и эталонной пробе

статистически независимыми, можно допустить, что средняя квадратическая погрешность (скп) способа будет равна:

$$m = \sqrt{2}m_{\text{из}}, \quad (2)$$

где  $m_{\text{из}}$  — скп измерителя скорости звука.

Средняя квадратическая погрешность современных измерителей скорости звука, например, Valeport Mini SVS составляет не более 0,02 м/с. То есть скп способа не превысит 0,028 м/с.

Для сравнения такая величина изменения скорости звука при температуре воды 15° в практически пресной воде (соленость 0÷1 ‰) будет определяться изменением солености примерно в 0,25 ‰ [3].

Таким образом, предлагаемый способ и устройство измерения скорости распространения звука позволяют с достаточными разрешением и оперативностью устанавливать факт загрязнения воды в водоеме и оценивать величину этого загрязнения.

### Литература

1. Атлас «Ладожское озеро». — Институт озероведения РАН, 2012.
2. *Догановский А.М.* Гидрология суши (общий курс). — СПб.: РГГМУ, 2012. — 524 с.
3. *Евтютов А.П., Колесников А.Е., Корепин У.А. и др.* Справочник по гидроакустике. 2 изд., перераб. и доп. — Л.: Судостроение, 1988. — 552 с.
4. *Зубов Н.Н.* Океанологические таблицы. Гидрометеиздат. — Л., 1957. — 407 с.