



Водоросли - индикаторы качества воды

Л.А. Медведева, Т.В. Никулина

Что такое водоросли. Водоросли широко распространены и обнаружены на всех континентах и областях Земного шара. Водоросли живут в основном в водной среде - в лужах, ручьях, реках, озерах, морях и океанах, но встречаются они в почве и на ее поверхности, на скалах, на стволах деревьев, внутри известнякового субстрата, в воздухе, в горячих источниках, а так же во льдах.

Так что же такое водоросли? Само название "водоросли" указывает, что это растения, произрастающие в воде. Но такое определение является не совсем точным, ведь в воде обитают и другие растения - цветковые водные: камыш, тростник, а также водяные мхи, хвощ и папоротники. Если мы представим себе вышеперечисленные растения, то можем с уверенностью сказать, что все они имеют сложные органы - стебель, лист, корень и они относятся к группе высших растений. Тело водорослей лишено настоящих стеблей, листьев и корней, и представляет собой таллом или слоевище (иногда из одной клетки) и водоросли включены в обширную группу низших растений, к которым относятся также бактерии, грибы и лишайники. Но по своему строению водоросли отличаются от других представителей низших растений тем, что клетки водорослей содержат хлорофилл, благодаря которому водоросли обладают способностью фотосинтеза. Определение водорослей, используемое в учебниках объединяет все, что было сказано нами об этих растениях и звучит следующим образом: "Водоросли - это низшие, т.е. слоевищные (лишенные расчленения на стебель и листья) споровые растения, содержащие в своих клетках хлорофилл и живущие преимущественно в воде".

Водоросли играют огромную, как положительную, так и отрицательную, роль в природе и жизни человека. Так, в водоемах как создатели органического вещества, эти низшие растения являются первым звеном пищевых цепей. Водоросли являются калорийной пищей для водных животных - червей, ручейников и моллюсков. Некоторые пресноводные водоросли являются съедобными и для людей. Во многих странах мира для пищевых и косметических целей культивируются водоросли хлорелла и спирулина.

В водной среде водоросли продуцируют свободный кислород и играют значительную роль в общем балансе кислорода на Земле.

Иногда водоросли играют и отрицательную роль в природе. Так называемое «цветение» воды - чрезмерное развитие планктонных водорослей в водоемах приводит к резкому ухудшению качества воды. Вода приобретает затхлый, землистый вкус и запах. Синезеленые водоросли продуцируют токсины, которые могут вызвать кишечные заболевания, судороги, конъюнктивит, аллергию.

Всего выделяют десять отделов водорослей: синезеленые, зеленые, диатомовые, золотистые, желтозеленые, бурые, красные, эвгленовые, динофитовые, харовые.

Как увидеть пресноводные водоросли в природе. Так как большинство пресноводных водорослей имеют микроскопические размеры, то увидеть их невооруженным глазом в природе возможно лишь в случае их массового развития по изменению окраски среды обитания: воды, почвы или другого субстрата.

В стоячих водоемах при массовом развитии синезеленых водорослей вода приобретает голубовато-зеленый оттенок, а на поверхности ее появляются голубоватые пенные скопления. Часто на поверхности стоячих водоемов плавает «тина» - это скопления нитчатых зеленых водорослей. Слизистые зеленые пленки на почве в пересыхающих лужах это тоже водоросли. Вытаскивая ветки, долгое время находящиеся в стоячей воде, на их поверхности можно заметить бесформенные бурые рыхлые скопления, зеленые слизистые шарики или даже небольшие зеленые разветвленные кустики, состоящие из тонких нитей: это тоже скопления водорослей.

В реке. Если обследуется проточный водоем: река или ручей, то нужно обращать внимание на камни в реке. Если они покрыты скользким бесцветным или слегка буроватым налетом, то это значит, что на камнях растут скопления диатомовых водорослей. Иногда на камнях имеются пленчатые слизистые дерновинки или легко снимающиеся корочки коричневого, зеленого или голубовато-зеленого цвета. Это - обрастания синезеленых водорослей. Также часто в очень чистых холодных ручьях можно увидеть прикрепленные к камням слизистые тяжи или косички коричневого цвета, иногда длиной до 1м: это золотистые водоросли.

Как собирать водоросли. Вытащив камень из воды, нужно соскоблить ножом слизь или пленку с камня и поместить ее в небольшой пузырек, затем нужно добавить немного формалина. Если, например, на ветке вы увидели зеленые шарики, кустики или нити, также поместите их в пробу.

Для того чтобы изучить водоросли планктона при интенсивном его развитии достаточно зачерпнуть воды из водоема в какую-либо посуду, а затем рассмотреть каплю воды под микроскопом. Можно сшить планктонную сеть, похожую на сетку, которой аквариумисты ловят беспозвоночных. Только нужно использовать для этого «мельничный газ».

Фиксирование пробы. Если вы хотите посмотреть водоросли живыми, увидеть их движение, естественный цвет, может быть даже процесс деления, то не фиксируйте пробу, но в этом случае вы должны смотреть материал сразу же, как только вернулись с экскурсии. Если хотите, чтобы водоросли дольше оставались живыми - поместите их в большой объем воды, в которой они обитали.

Если вы будете смотреть материал не сразу, или будете передавать его кому-то для определения, то нужно пробу зафиксировать с помощью фиксатора. Лучше всего использовать 4% раствор формалина.

Этикетирование пробы. Каждой пробе нужно сделать этикетку. Можно использовать для этого кусочек лейкопластыря, который вы наклеиваете на пузырек и подписываете шариковой ручкой. Нужно указать водоем, из

которого собрана проба, субстрат, с которого собрали водоросли, дату сбора и фамилию сборщика.

Микроскопирование материала. Увидеть одноклеточные водоросли мельчайших размеров можно только с помощью микроскопа. Самые простые микроскопы - это микроскопы марок Биолам и МБС. Чтобы увидеть водоросли, вам необходимо работать с увеличениями от 100 до 400 раз.

Пипеткой берется капля пробы и помещается на предметное стекло, затем сверху накрывается покровным стеклом.

Определение материала. Самая трудная часть работы с водорослями - это их определение. Книг, в которых в популярной форме было бы рассказано об определении пресноводных водорослей, проиллюстрированных рисунками или фотографиями, практически не существует. Единственное доступное для широкого круга читателей издание - это третий том Жизни растений (Жизнь растений, 1977). Можно использовать недавно вышедшую книгу «Атлас водорослей - показателей сапробности (Российский Дальний Восток)» (Баринаева, Медведева, 1996).

Использование водорослей для биологического анализа воды

Большая часть видов водорослей являются показателями качества воды. Некоторые виды водорослей могут существовать только в очень чистой воде (например, водоросль из отдела Золотистых - *Hydrurus foetidus*), другие виды могут существовать и в чистой, и в достаточно загрязненной воде (водоросль из отдела Диатомовых - *Synedra ulna*), а другие способны выдержать даже весьма значительную степень загрязнения (водоросль из отдела Зеленых - *Gonium pectorale*). Таким образом, зная, какие водоросли обитают в водоеме, даже не делая химического анализа воды можно сказать: чистый это водоем или загрязненный. Биологический метод анализа качества воды по индикаторным организмам (водорослям, беспозвоночным) широко используется при оценке состояния водоемов и контроля за качеством воды в них. Видовой состав, численность и биомасса организмов находятся в зависимости от качественного состава и концентрации веществ, растворенных в воде. Разработана система качества вод (или их сапробности), которая оценивает степень загрязнения водоема органическими веществами и продуктами их распада. Для количественной оценки степени загрязнения водоема разработаны численные индексы. Каждый показательный организм имеет свою степень сапробности, выражаемую индексом сапробности. На основании списка видов водорослей, обнаруженных на данном участке, и их количественных показателей вычисляется индекс сапробности водоема. Этот индекс рассчитывается по следующей формуле:

$$S = \frac{\sum s \cdot h}{\sum h},$$

где

S - степень сапробности водоема;

s - сапробное значение каждого показательного организма;

h - частота встречаемости показательного организма в пробе.

Существуют опубликованные списки водорослей – показателей сапробности (или индикаторов загрязнения), в которых для каждого показательного организма указывается уже известное сапробное значение – s (Водоросли..., 1989; Баринова, Медведева, 1996). Частота встречаемости вида в пробе (h) учитывается по шестибальной шкале:

- единично (1) - 1-5 экз. в препарате
- редко (2) - 10-15 экз. в препарате
- нередко (3) - 25-30 экз. в препарате
- часто (4) - по 1 экз. в каждом ряду покровного стекла при увеличении около 10 раз
- очень часто (5) - несколько экз. при тех же условиях
- масса (6) - несколько экз. в каждом поле зрения при тех же условиях.

В зависимости от качественного состава видов водорослей и степени их развития можно судить о степени загрязнения водоема и делать выводы о его санитарно-биологическом и экологическом состоянии в данный момент. Разработанная система оценки качества воды по биологическим показателям дает представление о степени загрязненности обследованного участка водотока и характеризует зону самоочищения водоема, соответствующую классу чистоты воды. В системе оценки качества воды по водорослям выделяется 5 основных зон и 5 классов чистоты воды (табл. 1).

Таблица 1

Система оценки качества вод по сапробным показателям

Зона сапробности	Обозначения	Интервалы индекса	Класс чистоты воды
Ксеносапробная	χ	0-0,50	I
Олигосапробная	o	0,51-1,50	II
Бетамезосапробная	β	1,51-2,50	III
Альфамезосапробная	α	2,51-3,50	IV
Полисапробная	ρ	3,51-4,50	V

Таким образом, исходя из таблицы 1, классы чистоты воды можно охарактеризовать следующим образом:

I класс – очень чистые воды, в которых преобладают виды ксеносапробионты (χ);

II класс – практически чистые воды, в которых преобладают виды ксено- и олигосапробионты (o), редко могут встречаться бетамезосапробионты;

III класс – слабо загрязненные воды, в которых преобладают виды, активно вегетирующие при слабой степени органического загрязнения, доминируют бетамезосапробионты (β), но могут встречаться также олиго- и альфамезосапробионты;

IV класс – сильно загрязненные воды. Здесь преобладают организмы, обладающие способностью выдерживать значительную степень органического

загрязнения - альфамезосапробионты (α). Могут встречаться бетамезо- и полисапробионты;

V – грязные или сточные воды. Преобладают полисапробионты (ρ) - организмы, способные вегетировать в сточных водах, реже могут встречаться альфамезосапробионты.

Ниже, в таблице 2, приведен пример расчета индекса сапробности для одной пробы.

Таблица 2

Проба № 1. Р. Кедровая, обрастания камней, 5 июня 2003 г.

Видовой состав водорослей	Частота встречаемости (h)	Характеристика вида	Индекс сапробности вида (s)	Произведение ($s \cdot h$)
Отдел Золотистые				
<i>Hydrurus foetidus</i>	6	Ксено-олигосапробионт (χ -o)	0,55	3,3
Отдел Диатомовые				
<i>Hannaea arcus</i>	6	Ксеносапробионт (χ)	0,4	2,4
<i>Meridion circulare</i>	4	Ксено-олигосапробионт (χ -o)	0,65	2,6
<i>Synedra ulna</i>	4	Бетамезосапробионт (β)	1,95	7,8
<i>Diatoma mesodon</i>	3	Ксеносапробионт (χ)	0,2	0,6
	$\sum h = 23$			$\sum s \cdot h = 16,7$

$$S = \frac{\sum s \cdot h}{\sum h} = \frac{16,7}{23} = 0,73$$

Значит, индекс сапробности на данном участке р. Кедровая равен 0,73. По таблице 1 это соответствует олигосапробной зоне, II классу чистоты воды. Таким образом, воды р. Кедровая чистые, свободные от органического загрязнения.

Наиболее обычные виды водорослей в наших водоемах

В водоемах Приморского края насчитывается порядка двух тысяч видов водорослей из разных отделов. Из них показателями качества воды являются около 500 видов. Ниже приведены фотографии и краткие описания наиболее часто встречающихся показательных видов водорослей.

СИНЕЗЕЛЕННЫЕ ВОДОРΟΣЛИ

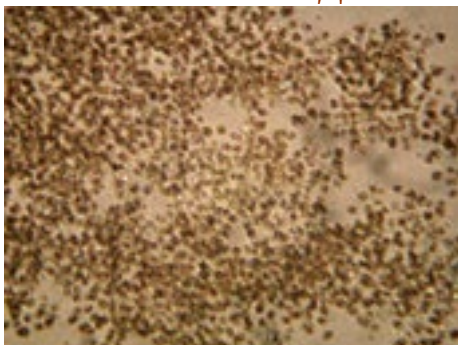


Рис. 1. *Microcystis aeruginosa* Kütz. - Микроцистис синеваго-зеленый.

Вид образует слизистые колонии разнообразной формы: от микроскопических до 8 мм в длину. Внутри слизи без особого порядка располагаются шаровидные клетки 2-8 мкм диаметром. Под микроскопом расположенные в клетках псевдовакуоли выглядят просто как черного цвета содержимое.

Планктонный вид. Вегетирует в толще воды в пресных стоячих водоемах: озерах и водохранилищах. Развиваясь в массовых количествах, может вызывать «цветение» воды. При этом отмирающие клетки образуют на поверхности воды пенную массу голубовато-зеленого цвета.

Показатель загрязненных вод, хотя может встречаться и в чистых водах.
Бетамезосапробионт (β), $s = 1,75$.



Рис. 2. *Phormidium autumnale* (Ag.) Gom. - Формидиум осенний.

Под микроскопом видны отдельные нити (трихомы), сплетающиеся в дерновинки. Нити оливково-зеленые, 4-7 мкм ширины, к концам суживающиеся, прямые или слабо согнутые. Конечные клетки головчатые.

Вид образует сине-зеленые, черноватые или коричневатые слизистые пленки на камнях в реках и ручьях. Часто встречается и в лужах, где образует приподнимающиеся со дна к поверхности слизистые корочки от коричневого до ярко-зеленого цвета. В жаркую погоду на поверхности пленок наблюдаются пузырьки воздуха.

Показатель загрязненных вод, хотя может встречаться и в чистых водах.
Бета-альфамезосапробионт (α - β), $s = 1,95$.

ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ

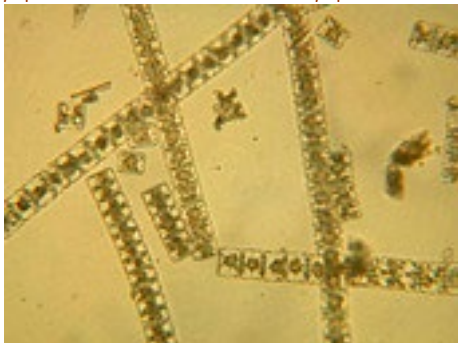


Рис. 3. *Diatoma mesodon* (Ehr.) Kütz. - Диатома средняя.

Под микроскопом видно, что отдельные экземпляры Диатомы, соединяясь всей поверхностью клетки, образуют длинные лентовидные цепочки. Если на отдельную клетку смотреть сверху, то она выглядит как эллипс 12-40 мкм длины и 6-15 мкм ширины с широкозакругленными концами. Поперек клетки видны грубые ребра.

При массовом развитии водоросль образует тонкие бурые нити, обрастающие камни, ветки и другие, погруженные в воду предметы, преимущественно в текучих водах: реках и ручьях. Предпочитает холодные воды, часто встречается в родниках. Может развиваться в массе с другими диатомовыми водорослями.

Показатель очень чистых вод.

Ксеносапробионт (χ), $s = 0,2$.

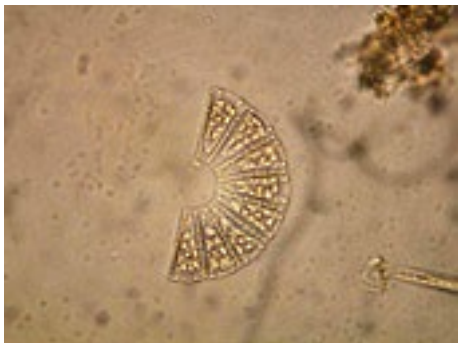


Рис. 4. *Meridion circulare* (Grev.) Ag. - Меридион круговой.

Под микроскопом створки водоросли могут выглядеть или как отдельные клетки, или в виде круговых колоний, образующихся, если клетки соединяются своими поверхностями, как на рис. 4. Отдельные клетки имеют булавовидную форму, с тупо закругленным, иногда со слегка отшнурованным головчатым концом. Длина клеток 12-80 мкм, ширина 4-8 мкм. Имеются грубые поперечные ребра.

Вид часто развивается вместе с вышеназванным видом *Diatoma mesodon* и образует бурые скопления на камнях в текучих водоемах. Также часто встречается в родниках.

Показатель чистых вод.

Олиго-ксеносапробионт ($\chi-0$), $s = 0,65$

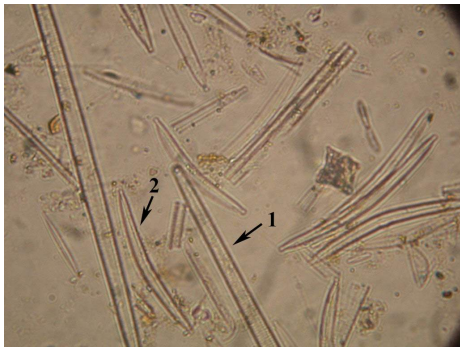


Рис. 5. *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehr. - Синедра локтевая (1) и *Hannaea arcus* (Ehr.) Patr. - Ханнея аркообразная (2).

Клетки Синедры выглядят под микроскопом как крупные длинные узкие палки от 50 до 350 мкм длины и 5-9 мкм ширины. Концы постепенно суженные, могут быть слегка головчато оттянутые. Имеются тонкие поперечные штрихи. Клетки Ханнеи изогнуты в виде удлинённого серпа, к концам суженные, концы клеток клювовидные или слегка головчатые. Длина клеток 15-150 мкм, ширина 4-7 мкм. Имеются нежные поперечные штрихи, на вогнутой стороне они прерываются и образуют выпуклость.

Оба вида чаще всего встречаются в массе с другими диатомовыми водорослями, хотя иногда в холодных реках с быстрым течением *Hannaea arcus* может образовывать чистые скопления. Внешне скопления водорослей выглядят как скользкий бесцветный или слегка буроватый налет на камнях.

Synedra ulna – показатель вод, имеющих разную степень органического загрязнения, хотя может встречаться и в чистых водах.

Бетамезосапробионт (β), $s = 1,95$

Hannaea arcus – показатель чистых вод.

Ксено-олигосапробионт (χ -0), $s = 0,4$

ЗЕЛЕННЫЕ ВОДОРΟΣЛИ

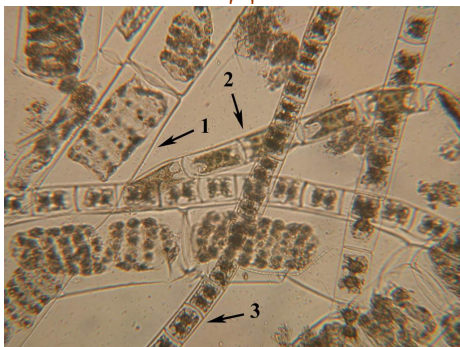


Рис. 6. Нитчатки *Spirogyra* - Спирогира (1), *Mougeotia* - Мужоция (2) и *Zygnema* - Зигнема (3).

Роды нитчатых зеленых водорослей можно определить по хроматофору (аналог хлоропластов в клетках растений). Например, Спирогира имеет хроматофоры в виде спирально закрученных тонких зеленых лент (1). В клетках Мужоции хроматофоры выглядят как зеленые прямоугольные пластинки (2), а у Зигнемы они имеют вид звездчатых образований (3). Определение этих водорослей до вида затруднено, так как для этого необходимо найти нити, имеющие органы полового размножения.

Чаще всего этих водорослей в массе развиваются в виде больших скоплений зеленых нитей в небольших стоячих водоемах, заводях рек. Чаще других встречается *Spirogyra*. Это то, что в народе называют «тина».

Виды *Spirogyra* (1) чаще всего являются показателями слабо загрязненных вод.

Этот род не имеет индекса сапробности.

Виды *Mougeotia* (2) и *Zygnema* (3) – показатели чистых вод.

Оба рода являются олигосапробионтами (о), $s = 1,0$

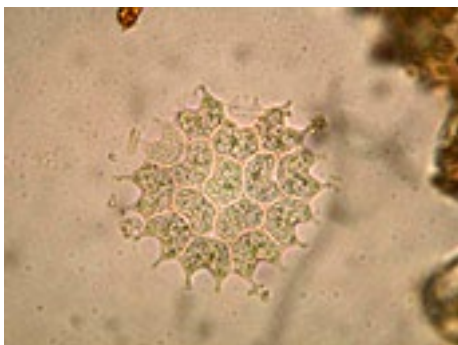


Рис. 7. *Pediastrum boryanum* (Turp.) Menegh. - Педиаструм бориев.

Под микроскопом водоросль Педиаструм выглядит как небольшая изящная пластинка, состоящая из 8-32 клеток, крайние из которых имеют выросты.

По большей части встречается отдельными клетками среди массы других водорослей, особенно нитчаток, в стоячих водоемах.

Показатель слабо загрязненных вод.

Бетамезосапробионт (β), $s = 1,85$

КРАСНЫЕ ВОДОРΟΣЛИ

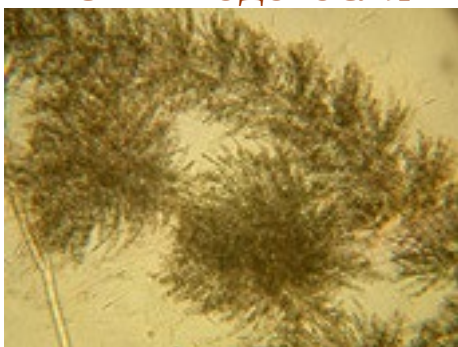


Рис. 8. *Batrachospermum moniliforme* Roth - Батрахоспермум четковидный.

Под микроскопом слоевище водоросли Батрахоспермум выглядит в виде разветвленных кустиков оливково-зеленого цвета с мутовчато расположенными боковыми веточками, которые придают нити четковидный характер. Мутовки боковых веточек состоят из нескольких пучков многократно разветвленных нитей. Часто боковые веточки заканчиваются длинным волоском.

Водоросль чаще всего растет на погруженных в воду ветках в холодных, быстротекучих реках и ручьях. Обычно предпочитает затененные места. Внешне выглядит как слизистые синевато-черные разветвленные

бусинкообразные кустики до 8 см. После фиксации формалином приобретает фиолетовую окраску.

Показатель чистых вод.

Ксено-бетамезосапробионт (χ - β), $s = 0,85$

ЗОЛОТИСТЫЕ ВОДОРΟΣЛИ



Рис. 9. Внешний вид водоросли *Hydrurus foetidus* Kirchn. - Гидрурус зловонный.



Рис. 10. Вид Гидруруса под микроскопом.

Под микроскопом водоросль Гидрурус выглядит как разнообразно разветвленные кустики, состоящие из общей слизистой массы, в которую погружены овально-треугольные желтовато-бурые клетки. Клетки густо расположены на периферии и более рыхло в центральной части слизи колонии.

Водоросль предпочитает жить в чистых холодноводных реках и ключах. Растет на камнях, в виде разнообразно разветвленных слизистых тяжей до 1 м длины, в массе развивается весной, после схода льда, зачастую образует сплошные слизистые ковры, покрывающие дно реки. Летом, с повышением температуры воды, а также после прохождения мутной паводковой воды, Гидрурус исчезает.

Самый характерный показатель чистых вод.

Ксено-олигосапробионт (χ - α), $s = 0,55$

Рекомендуемая литература

Барина С.С., Медведева Л.А. Атлас водорослей - индикаторов сапробиости (Российский Дальний Восток). Владивосток: Дальнаука, 1996. 364 с.

Водоросли. Справочник / Вассер С.П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П. и др. Киев: Наукова думка, 1989. 608 с.

Жизнь растений. Водоросли. Лишайники. М.: Просвещение, 1977. Т. 3. 487 с.