

# ВЫЯВЛЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ ИНДИКАТОРНЫХ ПЛАНКТОННЫХ ОРГАНИЗМОВ ДЛЯ КАЖДОЙ ЗОНЫ САПРОБНОСТИ ПРЕСНОВОДНЫХ ВОДОЕМОВ

В работе предпринята попытка выявления универсальных морфологических и экологических признаков индикаторных планктонных организмов, характерных для каждой зоны сапробности пресноводных водоемов с целью определения индикаторной значимости потенциальных видов.

*Ключевые слова:* морфологические признаки, экологические ниши, сапробность, пресноводные водоемы, индикаторные виды планктонных организмов.

## Введение

В настоящее время индикаторные виды планктонных организмов используются для оценки сапробности, которая характеризует уровень органического загрязнения водоема. Многие авторы проводят собственные долгосрочные исследования, на основе которых составляются списки индикаторных видов. Так, например, список индикаторных организмов по В.Сладечку включает около 600 видов фитопланктонных организмов (Sladecsek, 1973), а список индикаторных видов фитопланктона по С.Бариновой с соавторами содержит уже более 3000 видов (Барина и др., 2006).

На основе знаний, накопленных экспертами в данной области (Sladecsek, 1973; Макрушин, 1974; Барина и др. 2000, 2006; Wegl, 1983), нами предпринята попытка выявления общих морфологических и экологических признаков планктонных организмов, характерных для каждой зоны сапробности пресноводных водоемов, с использованием общепринятых определителей видов (Виноградова и др., 1980; Голлербах и др., 1953; Дедусенко-Щеголева и др., 1959, 1962; Федоров, 1977; Забелина, 1951; Киселев, 1954; Матвиенко, 1954; Мошкова, 1986; Цалолыхин, 1994; Паламарь-Мордвинцева, 1982; Рундина, 1998; Царенко, 1990).

*Окончание статьи В.А. Лушпеева, О.А. Лушпеевой, О.В. Тюкавкиной, В.И. Стреляев  
«Методика определения причины обводнения скважин»*

V.A. Lushpeev, O.A. Lushpeeva, O.V. Tyukavkina, V.I. Strelayev.  
**Method of determining the cause of water cut wells.**

The main objects of the operation of large oil fields in Western Siberia, are in the final stages of development, which is characterized by high water cut wells, the low rate of recovery of oil. The main reason for water cut wells is a breakthrough of water from injection wells and coning in reservoir with bottom water. This paper describes a method of determining the cause water cut wells for understanding under what operating conditions may well prevent premature breakthrough of bottom water and extend the free period of operation.

*Keywords:* coning, bottom water, production and injection wells, the maximum flow rate.

*Валерий Иванович Стреляев*

Кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры динамическая геология. Научные интересы: изучение актуальных вопросов и проектных решений в технике и технологии разведки месторождений полезных ископаемых.

Национальный исследовательский Томский государственный университет. 634050, Томская обл., г. Томск, ул. Ленина 36, Кафедра динамической геологии.

*Владимир Александрович Лушпеев*

Кандидат технических наук, доцент кафедры Нефтегазовое дело. Научные интересы: инновационные технологии в области гидродинамических исследований скважин, разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений.

*Ольга Александровна Лушпеева*

Доктор технических наук, профессор кафедры Нефтегазовое дело. Научные интересы: инновационные методы при бурении скважин, новые технологии в строительстве скважин. Экологический мониторинг нефтяных месторождений.

*Ольга Валерьевна Тюкавкина*

Кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры Нефтегазовое дело. Научные интересы: геологическое моделирование, изучение процессов рифтогенеза в Западной Сибири, обоснование и выбор методов повышения нефтеотдачи пластов.

Сургутский институт нефти и газа (филиал) ТюмГНГУ. 626400, Тюменская обл., ХМАО., г. Сургут, ул. Энтузиастов 38, Кафедра Нефтегазовое дело. Тел.: 8 (3462) 356445; факс: 8 (3462) 35-25-88.

В работе рассматривается широко применяемый на практике список индикаторных видов планктонных организмов по В.Сладечку (Sladecsek, 1973). Разработанные нами сводные базы данных включают описания морфологических признаков и экологических ниш обитания планктонных организмов, которые сгруппированы в соответствии с зоной сапробности водного объекта.

Наличие корреляции между внешними признаками (такими как морфологические и экологические) и сапробностью индикаторных планктонных организмов пресноводных водоемов позволит использовать эти признаки в качестве универсальных маркеров с целью определения потенциальных планктонных видов как биоиндикаторов сапробности водоемов.

## Материалы и методы

Объектами исследования являются 581 и 438 индикаторных видов фито-, зоопланктона соответственно из классификации Сладечка (1973), описание их морфологических признаков и экологических ниш обитания (Виноградова и др., 1980; Голлербах и др., 1953; Дедусенко-Щеголева и др., 1959, 1962; Федоров, 1977; Забелина, 1951; Киселев, 1954; Матвиенко, 1954; Мошкова, 1986; Цалолихин, 1994; Паламарь-Мордвинцева, 1982; Рундина, 1998; Царенко, 1990).

В работе использовано программное обеспечение MS Office Excel для обработки большого массива исходных данных.

## Результаты и их обсуждение

*Анализ морфологических признаков индикаторных видов планктонных организмов, сгруппированных по зонам сапробности водоемов*

Разработанная база данных морфологических признаков индикаторных видов планктонных организмов содержит описание 100 и 135 морфологических признаков для фитопланктона и зоопланктона соответственно.

Морфологические признаки объединены в группы по зонам сапробности водоемов, включающие типы (классы) с указанием количества входящих в них видов фито-, зоопланктона:  $\alpha$  (альфамезасапробионты),  $\alpha$ - $\beta$  (альфа-бетамезасапробионты),  $\beta$  (бетамезасапробионты),  $\beta$ - $\alpha$  (бета-альфамезасапробионты),  $\beta$ - $o$  (бета-олигосапробионты),  $o$  (олигосапробионты),  $o$ - $\beta$  (олиго-бетамезасапробионты),  $o$ - $x$  (олиго-ксеносапробионты),  $p$  (полисапробионты),  $p$ - $\alpha$  (поли-альфасапробионты),  $x$  (ксеносапробионты),  $x$ - $o$  (ксено-олигосапробионты) (Табл. 1).

Из таблицы 1 видно, что виды распределяются по разным группам сапробности неравномерно. Для фитопланктонных организмов самая многочисленная группа сапробности –  $b$ , представлена организмами, принадлежащими типам Cyanophyta, Chrysophyta, Bacillariophyta, Xanthophyta, Pyrrophyta, Euglenophyta, Chlorophyta (классы Volvocineae, Chlorococcaceae, Ulotrichophyceae, Siphonophyceae, Conjugatophyceae). Самая малочислен-

Зона сапробности	Количество видов/типы (классы), сгруппированных по морфологическим признакам			
	фитопланктон		зоопланктон	
$\alpha$	43	Cyanophyta, Bacillariophyta, Pyrrophyta, Euglenophyta, Chlorophyta (класс Volvocineae)	5	Cladocera, Rotatoria
$\alpha$ - $\beta$	14	Cyanophyta, Bacillariophyta, Euglenophyta, Chlorophyta (классы Volvocineae, Ulotrichophyceae, Conjugatophyceae, Chlorococcaceae)	-	
$\beta$	226	Cyanophyta, Chrysophyta, Bacillariophyta, Xanthophyta, Pyrrophyta, Euglenophyta, Chlorophyta (классы Volvocineae, Chlorococcaceae, Ulotrichophyceae, Siphonophyceae, Conjugatophyceae)	77	Cladocera, Rotatoria, Copepoda
$\beta$ - $\alpha$	33	Cyanophyta, Bacillariophyta, Euglenophyta, Chlorophyta (классы Volvocineae, Chlorococcaceae, Ulotrichophyceae, Conjugatophyceae)	5	Cladocera, Rotatoria
$\beta$ - $o$	17	Cyanophyta, Chrysophyta, Bacillariophyta, Pyrrophyta, Euglenophyta, Chlorophyta (классы Chlorococcaceae, Ulotrichophyceae)	7	Cladocera, Rotatoria, Copepoda
$o$	92	Cyanophyta, Chrysophyta, Bacillariophyta, Xanthophyta, Pyrrophyta, Euglenophyta, Chlorophyta (классы Chlorococcaceae, Ulotrichophyceae, Conjugatophyceae, отдел Rhodophyta)	222	Cladocera, Rotatoria, Copepoda
$o$ - $\beta$	62	Cyanophyta, Bacillariophyta, Xanthophyta, Pyrrophyta, Euglenophyta, Chlorophyta (классы Volvocineae, Chlorococcaceae, Ulotrichophyceae, Siphonophyceae, Conjugatophyceae)	113	Cladocera, Rotatoria, Copepoda
$o$ - $x$	8	Bacillariophyta, Euglenophyta, Chlorophyta (класс Volvocineae), Rhodophyta	-	
$p$	11	Cyanophyta, Chlorophyta (классы Volvocineae, Chlorococcaceae)	-	
$p$ - $\alpha$	10	Cyanophyta, Euglenophyta, Chlorophyta (классы Volvocineae, Chlorococcaceae)	-	
$x$	30	Cyanophyta, Bacillariophyta, Xanthophyta, Chlorophyta (класс Volvocineae), Rhodophyta, Phaeophyta	5	Copepoda
$x$ - $o$	29	Cyanophyta, Chrysophyta, Bacillariophyta, Xanthophyta, Chlorophyta (классы Ulotrichophyceae, Conjugatophyceae Rhodophyta)	3	Cladocera, Rotatoria

Табл. 1. Планктонные организмы, сгруппированные по морфологическим признакам и зонам сапробности водоемов.

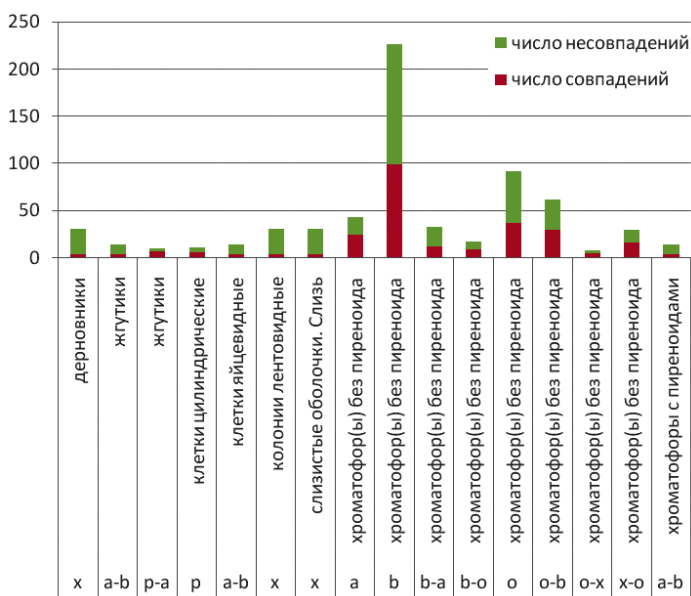


Рис. 1. Распределение морфологических признаков фитопланктона по группам сапробности.

ная группа сапробности – *o-x*, представлена организмами, принадлежащими типам Bacillariophyta, Euglenophyta, Chlorophyta (класс Volvocineae), Rhodophyta. Обе группы объединились по морфологическому признаку – *хроматофоры без пиреноида*.

Распределение морфологических признаков фитопланктона по группам сапробности приведено на рис. 1.

Как показано на рис. 1, связь между морфологическими признаками и сапробностью фитопланктона не выявлена, поскольку одни и те же морфологические признаки принадлежат видам-индикаторам разных зон сапробности. Например, признак *наличие жгутиков* встречается у видов – индикаторов двух зон сапробности:  $\alpha$ - $\beta$  и  $p$ - $\alpha$ , а признак *хроматофоры без пиреноида* – у видов, принадлежащих к 8 разным группам сапробности.

В процентном отношении минимальное совпадение по морфологическим признакам для фитопланктона составляет 1%, а максимальное не превышает 73%. Минимальные значения 1-2% показывают, что в данной группе сапробности встречаются 1-2 вида с одинаковыми морфологическими признаками, например, *трихомы*, *вакуоли*, *перешнурованные трихомы*, *изогнутые трихомы*, *квадратные клетки*, *круглые клетки*, *эллипсоидные колонии*, *круглые колонии*, *шаровидный домик*, *палочковидные клетки*, *прямые клетки*. Следовательно, данные признаки не могут считаться универсальными.

Максимальные совпадения по морфологическим признакам объясняются тем, что данная группа содержит всего 10 видов фитопланктона, 7 из которых принадлежат одному типу Euglenophyta, а, как известно, практически все виды эвгленид имеют 1-2 жгутика. Другие наиболее высокие проценты совпадения 62% и 63% по морфологическим признакам – *веретеновидные клетки*, *хроматофоры с пиреноидом* и *хроматофоры без пиреноида*, встречаются в той же группе сапробности  $r$ - $\alpha$ , и в такой же малочисленной группе сапробности  $o$ - $x$ ,

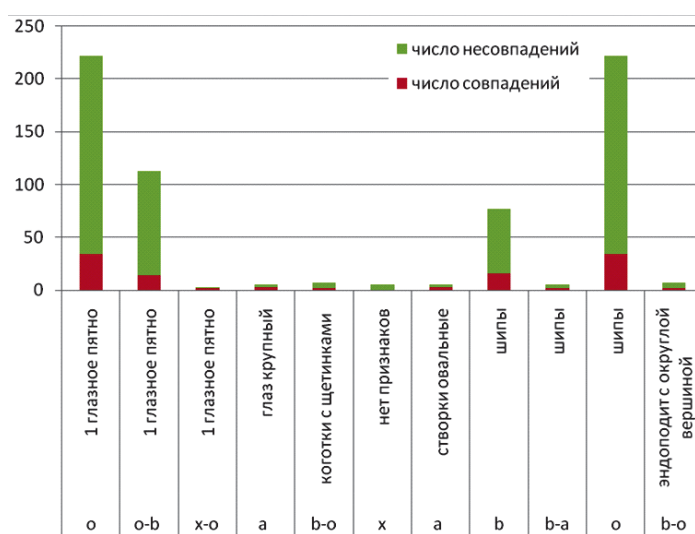


Рис. 2. Распределение морфологических признаков зоопланктона по группам сапробности.

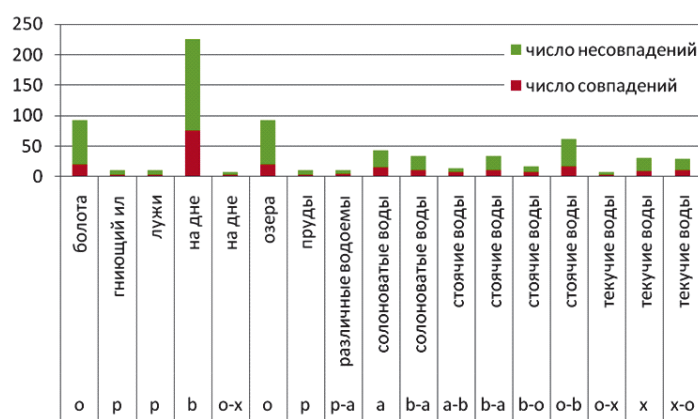


Рис. 3. Распределение экологических ниш обитания фитопланктона по группам сапробности.

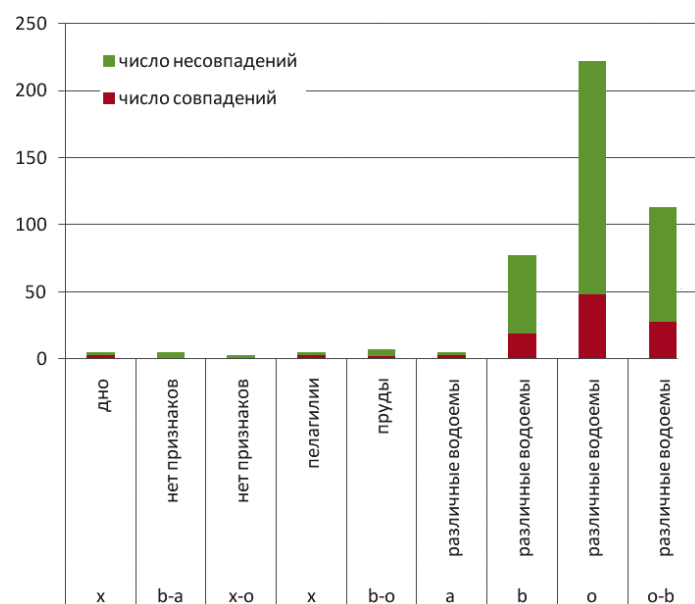


Рис. 4. Распределение экологических ниш обитания зоопланктона по группам сапробности.

Зона сапробности	Количество видов, сгруппированных по экологическим нишам	
	фитопланктон	зоопланктон
<i>α</i>	43	5
<i>α-β</i>	14	-
<i>β</i>	226	77
<i>β-α</i>	33	5
<i>β-ο</i>	17	7
<i>ο</i>	92	222
<i>ο-β</i>	62	113
<i>ο-х</i>	8	-
<i>ρ</i>	11	-
<i>ρ-α</i>	10	-
<i>х</i>	30	5
<i>х-ο</i>	29	3

Табл. 2. Индикаторные виды фито- и зоопланктонных организмов, сгруппированные по экологическим нишам обитания и зонам сапробности.

включающей 8 видов, 5 из которых принадлежат типу Bacillariophyta. В среднем, совпадения по морфологическим признакам у фитопланктонных организмов составляют 19%.

Следовательно, данные морфологические признаки также не могут быть использованы в качестве универсальных для определения фитопланктонных видов – потенциальных индикаторов.

Для зоопланктонных организмов самая многочисленная группа сапробности – *ο*, представлена организмами, принадлежащими типам Cladocera, Rotatoria и Copepoda. Самая малочисленная группа сапробности – *х-ο* представлена организмами, принадлежащими типам Cladocera, Rotatoria.

Распределение морфологических признаков зоопланктона по группам сапробности приведено на рис. 2.

Как видно из рис. 2, взаимосвязь между морфологическими признаками и группами сапробности зоопланктона не установлена. Например, такие признаки как *шпиги*, *одно глазное пятно* встречаются у представителей разных групп сапробности.

В процентном отношении минимальное совпадение по морфологическим признакам для зоопланктона составляет 1%, а максимальное не превышает 67%. Минимальные значения 1-2% показывают, что в данной группе сапробности встречаются 1-2 вида с одинаковыми морфологическими признаками, например, *гребень*, *плавники*, *панцирь сплюснутый*, *тело толстое*, *тело круглое*, *панцирь конусовидный*, *домик*, *манубрии палочковидные*, *голова выпуклая*, *антенны с шипами*, *коготки изогнутые*.

Максимальные совпадения по морфологическим признакам 60% и 67% объясняются малочисленностью сапробной группы. Группа сапробности *α*-альфамезасапробионты с совпадением 60% включает 5 организмов, группа *х-ο*-ксено-олигосапробионты с совпадением 67% включает 3 организма. Среднее значение совпадения по морфологическим признакам у зоопланктона составляет 23%.

Следовательно, морфологические признаки не могут

считаться универсальными для определения вида зоопланктона как индикатора сапробности.

*Анализ экологических ниш обитания индикаторных видов планктонных организмов, сгруппированных по зонам сапробности водоемов*

Разработанная база данных экологических ниш обитания индикаторных видов планктонных организмов содержит описание 28 и 39 экологических ниш обитания для фитопланктона и зоопланктона, которые объединены по зонам сапробности водоемов (Табл. 2).

Экологические ниши обитания планктонных организмов прописаны только у видов и разновидностей, благодаря чему данные по этому параметру более конкретизированы и точны. Несмотря на это встречались неточные описания, например указание на обитание в различных водоемах.

На рис.3 приведено распределение экологических ниш обитания фитопланктона по группам сапробности.

Как видно из рис. 3 связь между экологическими признаками фитопланктона и группами сапробности не установлена. Например, такие признаки как *обитание на дне водоемов и солоноватых водах*, встречаются у видов – индикаторов в стоячих водах, двух зон сапробности – *β*, *ο-х* и *α*, *β-α* соответственно. Признаки – *обитание в стоячих водах и текущих водах* – встречаются у видов – индикаторов 4-х и 3-х различных зон сапробности соответственно.

В процентном отношении минимальное совпадение по экологическим нишам обитания для фитопланктона составляет 1%, а максимальное не превышает 50%. Максимальное совпадение встречается в группе сапробности *α-β*-альфа-бетамезасапробионты по месту обитания в стоячих водах. Группа *α-β* содержит всего 14 видов и, хотя виды и принадлежат разным типам: Cyanophyta, Bacillariophyta, Euglenophyta, Chlorophyta (классы Volvocineae, Ulotrichophyceae, Conjugatophyceae, Chlorococconeae), такой высокий процент совпадения по данному месту обитания встречается лишь в одной группе сапробности и это обусловлено ее малочисленностью. В среднем совпадения по экологическим признакам для фитопланктона составляют 18%, что недостаточно для того, чтобы считать экологические признаки универсальными для определения вида как индикатора сапробности.

На рис. 4 приведено распределение экологических ниш обитания зоопланктона по группам сапробности.

Как видно из рис. 4, связь между экологическими нишами обитания зоопланктона и группами сапробности не установлена.

В процентном отношении минимальные совпадения по экологическим признакам для зоопланктона составляют 1-2%, максимальное совпадение – 60% в малочисленных группах сапробности *α*-альфамезасапробионты и *х*-ксеносапробионты, содержащих по 5 зоопланктонных организмов.

Среднее значение совпадения по экологическим нишам обитания для зоопланктона составляет 21%.

Таким образом, экологические ниши обитания – это признаки, которые не могут быть универсальными для

определения вида как потенциального индикатора сапробности.

## Заключение

В работе показано, что совпадение морфологических признаков, экологических ниш обитания индикаторных планктонных организмов по зонам сапробности водоемов составляет от 18% до 23%. Это свидетельствует о слабой связи между внешними признаками и сапробностью индикаторных планктонных организмов пресноводных водоемов. Эти признаки не могут быть использованы в качестве универсальных маркеров для определения планктонных видов как потенциальных биоиндикаторов.

Следует отметить, что использование определителей видов требует значительных усилий и времени, в особенности у молодых специалистов. Для идентификации одного организма необходимо четко знать в среднем до 30 морфологических признаков. Кроме того, часть организмов может быть механически повреждена при отборе проб или утрачена в естественной среде обитания. Если по какой-либо причине произошло повреждение или потеря таксономически значимого признака, правильно идентифицировать организм довольно сложно.

В то же время, современные генетические технологии, например ДНК-штрихкодирование (Folmer et al, 1994), позволяют достоверно определить вид по любому его фрагменту путем секвенирования нуклеотидной последовательности. Известные нуклеотидные последовательности заносятся в международную базу данных GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>). Поиск молекулярных последовательностей в базе данных GenBank требует намного меньше времени для идентификации, чем поиск внешних признаков с помощью определителей видов.

Таким образом, генетические методы позволяют обрабатывать большее количество экологически-значимой информации для эффективной оценки качества воды. Достоверная и оперативная оценка повысит результативность природоохранных работ, что особенно актуально в регионах интенсивного антропогенного воздействия на окружающую среду, например, в Республике Татарстан при добыче, переработке, транспортировке углеводородного сырья и полезных ископаемых.

## Литература

- Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоазнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель Авив: PiliesStudio. 2006. 498 с.
- Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Экологические и географические характеристики водорослей-индикаторов. Водоросли-индикаторы в оценке качества окружающей среды. М.: ВНИИприроды. 2000. С.60-150.
- Виноградова К.Л., Голлербах М.М., Зауер Л.М., Сдобникова Н.В. Зеленые водоросли. Класс сифонокладиевые, сифоновые, красные водоросли, бурые водоросли. *Определитель пресноводных водорослей СССР*. Л.: Наука. 1980. Вып.13. 248 с.
- Голлербах М.М., Касинская Е.К., Полянский В.И. Синезеленые водоросли. *Определитель пресноводных водорослей СССР*. М.: Наука. 1953. Вып. 2. 652 с.
- Дедусенко-Щеголева Н.Т., Голлербах М.М. Желтозеленые водоросли. Xanthophyta. *Определитель пресноводных водорослей СССР*. М.; Л.: Изд-во АН СССР. 1962. Вып. 5. 272 с.
- Дедусенко-Щеголева Н.Т., Матвиенко А.М., Шкорбатов А.А.

Зеленые водоросли. Класс вольвоксовые (Chlorophyta: Volvocineae). *Определитель пресноводных водорослей СССР*. М.; Л.: Изд-во АН СССР. 1959. Вып. 8. 230 с.

Жизнь растений в 6-ти томах. Том 3. Водоросли. Лишайники. Под ред. А.А. Федоров. М.: Просвещение. 1977. 277.

Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С.. Диатомовые водоросли. *Определитель пресноводных водорослей СССР*. М.: Наука. 1951. Вып. 4. 619 с.

Киселев И.А. Пирофитовые водоросли. Пирофитовые водоросли. *Определитель пресноводных водорослей СССР*. М.: Наука. 1954. Вып. 6. 212 с.

Макушин А.В. Биологический анализ качества вод. Под ред. Г.Г. Винберга. Л.: Изд-во ЗИН АН СССР. 1974. 60 с.

Макушин А.В. Возможности и роль биологического анализа в оценке степени загрязнения водоемов. *Гидробиологический журнал*. 1974. № 2. С.98-104.

Матвиенко А.М. Золотистые водоросли. *Определитель пресноводных водорослей СССР*. М.: Наука. 1954. Вып. 3. 188.

Мошкова Н.А., Голербах М.М. Зеленые водоросли. Класс улотриксковые. Порядок улотриксковых. *Определитель пресноводных водорослей СССР*. Л.: Наука. 1986. Вып. 10. 360.

Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. под ред. С. Я. Цалолыхина. СПб.: Наука. 1994. 394 с.

Паламарь-Мордвинцева Г.М. Зеленые водоросли. Класс конъюгаты. Порядок десмидиевые. *Определитель пресноводных водорослей СССР*. Наука, Ленингр. отд-ние. 1982. Вып. 11. 620 с.

Рундина Л.А. Зигнемовые водоросли России (Chlorophyta: Zygnematales). СПб.: Наука, 1998. 351 с.

Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. Киев: Наук. Думка, 1990. 206 с.

Folmer, O., Black M., Hoeh W., Lutz R., and Vrijenhoek R. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Mol. Mar. Biol. Biotechnol* 3. 1994. pp. 294-297.

Sladeczek V. System of water quality from the biological point of view. *Ergeb. Limnol.* 1973. bd. 7.

Wegl R. Index für die Limnosaprobität. *Gewasser und Abwasser*. 1983. №26. pp. 1-175.

L.L.Frolova, A.G.Kurinova. Identification of the universal features of the indicators planktons species for each zone of saprobity of freshwater reservoirs

In this article we show the attempt to define the universal morphological and ecological features of indicators planktons organisms for each zone saprobity of freshwater reservoirs. Based on them our purpose was to determine the potential species of planktons as bioindicators.

Keywords: morphological and ecological features, saprobity, fresh water reservoirs, indicators species of planktons organisms.

*Людмила Леонидовна Фролова*

Кандидат технических наук, доцент кафедры генетики Казанского (Приволжского) федерального университета. Научные интересы: биоинформатика, молекулярная генетика, экология водоемов.

*Анна Александровна Курынова*

Выпускница 2011 года кафедры генетики биолого-почвенного факультета Казанского (Приволжского) федерального университета.

Институт фундаментальной медицины и биологии КФУ. Россия, Казань, ул. Кремлевская, д.18. Тел.: (843)233-78-83.