

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ ЦЕНТРИЧНЫХ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ

А. М. Лях, Л. В. Смирнова, О. В. Шихат

Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, РФ,
antonlyakh@yahoo.com

Центричные диатомовые – обширная группа микроводорослей, преобладающая в фитопланктоне Черного моря. Определитель группы создан в середине прошлого века, с тех пор ее систематика и таксономический состав существенно поменялись. Поэтому мы приступили к созданию нового компьютерного определителя центричных диатомовых. Он построен на основе многовходового политомического ключа и работает под управлением экспертной системы «Таксакейс». Список диатомовых сформирован на основе публикаций и собственных исследований авторов. Признаки таксонов извлечены из опубликованных диагнозов. Они разделены на три группы с разным таксономическим разрешением, что помогает избежать вопросов о признаках, которые исследователь не сможет рассмотреть. На данном этапе мы строим определитель родов центричных диатомовых и некоторых видов с уникальными признаками.

Ключевые слова: фитопланктон, диатомовые водоросли, определитель, экспертная система, политомический ключ

Диатомовые водоросли – группа микроорганизмов с разнообразными элементами кремниевого панциря, комбинация которых формирует огромное число видов [1, 2]. Диатомовые часто доминируют в фитопланктоне Черного моря и являются одним из элементов мониторинговых исследований. Для полноценного изучения диатомовых необходима корректная идентификация видов с учетом современных систематических изменений. Однако последний обобщающий определитель черноморских планктонных диатомовых издан в 50-х годах прошлого века [3]. Дальнейшие находки и описания таксонов приведены в разрозненных публикациях многочисленных авторов [4–16 и др.], но не сведены в единую систему. Единственный компьютерный определитель черноморских диатомовых включает один род *Chaetoceros* Ehr. [17]. По этой причине мы начали разрабатывать компьютерный определитель центричных диатомовых Черного моря, учитывающий современное состояние группы.

Определитель построен на основе многовходового политомического ключа. В отличие от одновходовых, он позволяет пользователю начать определение с любого удобного признака и продолжить в произвольной последовательности. Политомический ключ помогает идентифицировать организмы по неполному набору характерных признаков, как это обычно делают профессиональные исследователи.

Определитель работает под управлением адаптивной экспертной системы «Таксакейс» [18–19]. Система обеспечивает диалог с пользователем: задает вопросы о признаках объекта, обрабатывает ответы и выдвигает гипотезы о таксонах, к которым относится организм. Она оптимизирует процесс идентификации – стремится сократить количество признаков, необходимое для определения таксона, и работает с зависимыми признаками. Система адаптируется к информации о новых таксонах: запоминает введенное пользователем множество значений признаков, которое является описанием таксона. В случае, когда система не находит таксоны, соответствующие описанию, она предлагает присвоить ему новое таксономическое название и использует при следующих идентификациях. Таким способом пользователь дополняет таксономическую базу системы, что снимает проблему ограниченности определителей [19].

Определитель использует список черноморских центричных диатомовых, сформированный на основе литературных данных [4–16, 20 и др.]. Таксоны диатомовых

описаны по единой схеме. Для построения таблицы признаков использованы диагнозы из работ [1–3, 20–21 и пр.]. Признаки описывают морфологическое строение разноразмерных элементов диатомовых от панциря до пор на поверхности створок. В световой микроскоп (СМ) исследователь увидит часть крупных признаков, остальные мелкие рассмотрит только в электронный микроскоп (ЭМ). В диагнозах и диагностических ключах авторы не разделяют СМ и ЭМ признаки, поэтому пользоваться такими ключами не удобно. При подготовке определителя мы разделили признаки на три группы:

- 1 – признаки диатомовых с протопластом, различимые в СМ;
- 2 – признаки очищенных панцирей диатомовых, различимые в СМ;
- 3 – признаки очищенных панцирей, различимые в ЭМ.

Каждая группа признаков обладает своим таксономическим разрешением. Таксономическое разрешение первой группы признаков самое низкое. Они позволяют идентифицировать высший таксон, в редких случаях вид диатомовой. Сюда отнесены: способность организмов формировать колонии и разновидности колоний; форма панциря; наличие слизи, обволакивающей панцирь; наличие шипов, шипиков и прочих заметных выростов; количество, размер, форма и расположение хлоропластов; форма створки; топология поверхности створки (створка плоская, выпуклая, волнистая); тип и фрагментарность текстуры створок; наличие гиалинового поля в центре створки и его относительный размер; наличие и частота радиальных ребер.

Вторая группа признаков помогает идентифицировать виды, реже высшие таксоны. Сюда относятся: число ареол у края и в центре створки; плотность ареол (число ареол вдоль границы створки); наличие выростов с опорами, их количество и расположение; общее количество повторяющихся структурных элементов; наличие ложного узелка.

Третья группа признаков имеет наивысшее таксономическое разрешение и однозначно описывает виды. Группа включает: тип ареол (пороидные или локулярные); строение ареол (расположение и строение форамена, форма камер локулярных ареол, характеристики перфорации крибрума); наличие и характеристику ложного узелка; наличие, расположение и типы лабиальных выростов и выростов с опорами.

Разделение признаков на группы помогает системе избежать ненужных вопросов о признаках, которые пользователь не сможет рассмотреть.

На данном этапе мы сосредоточены на диагностических описаниях родов центральных диатомовых и некоторых ярких видов с уникальными признаками.

1. Round F. E., Crawford R. M., Mann D. G. *Diatoms: biology and morphology of the genera*. Cambridge University Press, 1990. 747 pp.
2. Николаев В. А., Харвуд Д. М. *Морфология, таксономия и система классификации центральных диатомовых водорослей*. СПб. : Наука, 2002. 118 с.
3. Прошкина-Лавренко А. И. *Диатомовые водоросли планктона Черного моря*. М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1955. 222 с.
4. Георгиева Л. В. Фитопланктон. Видовой состав и динамика фитопланктона // *Планктон Черного моря*. Киев : Наукова думка, 1993. С. 31–55.
5. Георгиева Л. В., Сеничкина Л. Г. Фитопланктон Черного моря: современное состояние и перспективы // *Экология моря*. 1996. Вып. 45. С. 6–13.
6. Генкал С. И., Теренько Л. М., Нестерова Д. А. Новые данные к флоре центральных диатомовых водорослей (Centrophyceae) Придунайского района Черного моря // *Гидробиологический журнал*. 2009. Т. 45, № 4. С. 52–72.
7. Дерезюк Н. В. Диатомовые водоросли (Bacillariophyceae) в дельте Днестра (2010–2011 гг.) // *Екологія міст та рекреаційних зон: Збірн. докл. та статей наук.-практ. конф.* Одесса, 2012. С. 111–115.
8. Манжос Л. А. Количественное развитие и распределение фитопланктона в водах у побережья Феодосии в декабре 2006 г. // *Экология моря*, 2008. Вып. 75. С. 16–22.

9. Незлин Н. П., Зернова В. В. Видовой состав фитопланктона северо-восточной части Черного моря и характеристика размеров отдельных его представителей // *Сезонные изменения черноморского планктона*. М.: Наука, 1983. С. 6–12.
10. Нестерова Д.А., Теренько Л.М., Теренько Г.В. Список видов фитопланктона // *Северо-западная часть Черного моря: биология и экология*. К.: Наукова думка, 2006. С. 557–576.
11. Паутова Л. А., Силкин В. А., Лифанчук А. В. Новый для Черного моря вид *Chaetoceros minutus* (Baillariophyta): природные наблюдения и экспериментальные исследования // *Альгология*. 2013. Т. 23, № 2. С. 202–216.
12. Сеничева М. И. Новые и редкие для Черного моря виды диатомовых и динофитовых водорослей // *Экология моря*. 2002. Вып. 62. С. 25–28.
13. Сеничева М. И. Видовое разнообразие, сезонная и межгодовая изменчивость микроводорослей в планктоне у берегов Крыма // *Микроводоросли Черного моря: проблемы сохранения биоразнообразия и биотехнологического использования*. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. С. 5–18.
14. Смирнова Л. В. Фитопланктон Севастопольской бухты и сопредельных вод в осенне-зимний период 2014 г. (Черное море) // *Комплексные исследования морей России: оперативная океанография и экспедиционные исследования: Материалы мол. науч. конф. (Севастополь, 25–29 апреля 2016 г.)*. Севастополь: МГИ, 2016. С. 487–492.
15. Ясакова О. Н. *Фитопланктон Северо-Восточной части Черного моря*: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Мурманск, 2013. 30 с.
16. Bodeanu N. Structure et dynamique d'algoflore unicellulaire dans les eaux du littoral Roumain de la mer Noire // *Recherches marines*. 1987–1988. Vol. 20/21. P. 19–250.
17. Георгиева О. Ю., Лелеков С. Г., Силаков М. И., Лях А. М. Компьютерный визначник роду *Chaetoceros* Ehr. (Bacillariophyta) Чорного моря. База даних. Свідощтво про реєстрацію авторського права на твір № 23638 от 01.02.2008.
18. Лях А. М., Лелеков С. Г. Адаптивная экспертная система для таксономической идентификации организмов // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовых зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2014. Вып. 29. С. 107–114.
19. Лях А. М., Лелеков С. Г., Царин С. А., Агаркова-Лях И. В. Адаптивная экспертная система «Таксакейс» – следующий этап развития таксономических экспертных систем // *Актуальные проблемы экологии и сохранения биоразнообразия России и сопредельных стран*. Мат. Всерос. науч. конф. с междуна. участием (27–30 апреля 2015 г.). Владикавказ: Изд-во СОГУ, 2015. Вып. XIX. С. 167–169.
20. Макарова И. В. *Диатомовые водоросли морей СССР: род Thalassiosira* Cl. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1988. 116 с.
21. Hasle G. R., Syvertsen E. E. *Marine diatoms. Identifying marine phytoplankton* / Ed. R. T. Carmelo. Acad. Press, 1997. 858 p.

A COMPUTER IDENTIFIER OF THE CENTRIC DIATOMS OF THE BLACK SEA

A. M. Lyakh, L. V. Smirnova, O. V. Shikhat

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research, RAS, Sevastopol, RF, antonlyakh@yahoo.com

Centric diatoms is a vast group of microalgae that prevails in phytoplankton of the Black Sea. The identifier of the group was created in the middle of last century, since the group taxonomy and composition sufficiently changes. That is why we start to create a computer identifier of the centric diatoms. The identifier is based on multi-entry polytomous key and is operated by the “Taxakeys” expert system. The list of diatoms taxa is formed from published materials and authors personal data. Taxa characters are composed from published diagnoses. They are divided into three groups with different taxonomic resolution that helps researcher to avoid unnecessary questions about characters which could not be recognized. At current stage we construct the identifier of centric diatoms genera and some species with unique characters.

Keywords: phytoplankton, diatoms, identifier, expert system, polytomous key