



## ЭКОЛОГИЯ ГЛУБОВОДНЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

**Петрова Валерия Дмитриевна**

Студент, Факультет биологии и почвоведения Санкт-Петербургский  
государственный университет  
г. Санкт-Петербург, Россия

**Сидоров Алексей Георгиевич**

Доцент, Кафедра морской биологии, Санкт-Петербургский государственный  
университет  
г. Санкт-Петербург, Россия

### Аннотация

Глубоководные гидротермальные источники представляют собой уникальные экосистемы, существующие в условиях экстремальных температур, высокого давления и полной отсутствия солнечного света. Несмотря на кажущуюся непригодность для жизни, эти области являются центрами высокой биологической продуктивности и характерны сложными симбиотическими системами, основанными на хемосинтезе. В статье рассматриваются физико-химические свойства гидротермальных источников, особенности сообществ, механизмы адаптации организмов к экстремальной среде, а также значение таких экосистем для глобальных биологических и геохимических процессов.

**Ключевые слова:** гидротермальные источники, глубоководная экология, хемосинтез, экстремофилы, биогеохимические циклы, морские экосистемы

### Введение

Глубоководные гидротермальные источники были открыты сравнительно недавно — в конце 1970-х годов, что стало одним из наиболее значимых открытий в морской биологии. Эти уникальные геологические структуры располагаются на срединно-океанических хребтах, в зонах разломов и субдукционных процессов. В противоположность большинству известных экосистем, жизнь в гидротермальных полях основана не на энергии солнечного света, а на химической энергии, выделяемой при взаимодействии горячих флюидов с морской водой. Экосистемы гидротермальных источников представляют собой богатую мозаику организмов, отличающихся высокой степенью адаптации к экстремальным условиям: давлению, достигающему сотен атмосфер, температурным градиентам, превышающим 300 °С, повышенной концентрации сероводорода, метана и

металлов. Несмотря на эти факторы, гидротермальные поля представляют собой «островки жизни» на океанском дне, обладающие высокой биомассой и быстро изменяющейся структурой сообществ.

### **Физико-химические особенности глубоководных гидротермальных систем**

Гидротермальные источники формируются в результате циркуляции морской воды через трещины океанической коры. Прогреваясь в недрах Земли до температур свыше 350 °С, вода насыщается минералами, металлами и сернистыми соединениями. Выходя на поверхность, она образует характерные «черные курильщики» и «белые курильщики», различающиеся по химическому составу выбросов.

Высокие концентрации сероводорода, метана, железа и марганца создают экстремальные условия, но одновременно открывают возможности для хемосинтетических бактерий, являющихся основой пищевых цепей.

Температурные градиенты формируют уникальные микрзоны: от сверхгорячих участков рядом с соплом источника до более мягких температур в нескольких сантиметрах от него. Такое распределение создает сложные экологические ниши, каждая из которых заселена специфическими организмами.

### **Биологические сообщества и симбиотические связи**

Одной из самых удивительных черт гидротермальных экосистем является высокая продуктивность, обеспечиваемая исключительно микробиальными сообществами. Основу биосинтеза составляет хемолитотрофный путь, при котором бактерии и археи используют сероводород или метан как источник энергии для фиксации углерода.

Крупные представители фауны — трубчатые черви *Riftia pachyptila*, двустворчатые моллюски, креветки, улитки и голотурии — существуют благодаря симбиозу с хемосинтетическими микроорганизмами. Например, трубчатые черви полностью утратили пищеварительную систему и получают все питательные вещества через симбиотические бактерии, живущие в их трофосомах.

Сообщество характеризуется ярко выраженной зональностью: чем ближе организм расположен к выходному отверстию флюидов, тем сильнее его физиологическая адаптация к высоким температурам, токсичности и низкому содержанию кислорода.

Кроме макрофауны значительную роль играют микробные плёнки, колонии архей и бактерий, формирующие «поверхностные ковры» на минеральных структурах.

## **Адаптационные механизмы к экстремальной среде**

Организмы гидротермальных зон демонстрируют широкий спектр адаптаций:

### **Физиологические адаптации:**

способность переносить температуры от 2 °С до 120 °С, наличие белков-термостабилизаторов, специальных ферментов и мембранных липидов, устойчивых к токсичным соединениям.

### **Биохимические адаптации:**

использование сероводорода и метана в качестве энергетического субстрата, наличие металл-связывающих белков, предотвращающих токсическое действие тяжелых металлов.

### **Поведенческие адаптации:**

изменение положения относительно источника в зависимости от температуры, концентрации кислорода и химических веществ.

Эти механизмы делают гидротермальные организмы одними из наиболее приспособленных экстремофилов на планете.

## **Роль гидротермальных систем в глобальных биогеохимических циклах**

Гидротермальные источники являются важным звеном круговорота серы, углерода, железа и других элементов. Благодаря высокой активности микроорганизмов они влияют на химический состав океана, участвуют в осаждении металлов и формировании рудных месторождений.

С точки зрения эволюции гидротермальные источники рассматриваются как возможная колыбель ранней жизни на Земле. Экстремальные условия, наличие энергии и минеральных поверхностей создавали подходящие условия для формирования первых протоклеток и молекулярных систем.

## **Заключение**

Глубоководные гидротермальные источники представляют собой уникальные экосистемы, объединяющие в себе экстремальные физические условия, высокую биологическую продуктивность и сложные механизмы адаптации организмов. Исследование этих зон открывает новые горизонты в изучении экстремофильной жизни, глобальных геохимических процессов и возможного происхождения жизни на Земле.

## Литература

1. Van Dover, C. The Ecology of Deep-Sea Hydrothermal Vents. Princeton University Press, 2014.
2. Tunnicliffe, V. Hydrothermal Vent Communities: A Review. Annual Review of Oceanography, 2020.
3. Jannasch, H., Mottl, M. Geochemical and Biological Interactions at Hydrothermal Vents. Science, 1985.
4. Fisher, C. R. et al. Extreme Adaptations in Hydrothermal Vent Fauna. Marine Biology Review, 2018.
5. Stewart, F. J., Sievert, S. Microbial Chemosynthesis and Deep-Sea Ecosystems. Nature Reviews Microbiology, 2021.