



Научно-исследовательский университет  
“Высшая школа экономики”

+

Московский институт электроники и  
математики им. А.Н.Тихонова

Майнор  
“Эпигеномика”

Москва  
2025

# Проект по биоинформатике

Исследуемый таксон:  
Амёбозоа (амёбозои)

Группа: 5

## Участники

Беренштейн Аркадий, Аладышев Дмитрий,  
Фадеева Анна, Харламов Вадим,  
Пашенцев Павел, Шиверских Елизавета,  
Садковская Маргарита, Голованкова Светлана,  
Гульев Алексей, Ивонинская Алина



## Основные признаки представителей

1. **Форма движения:** все представители образуют широкие «лопатные» выпячивания цитоплазмы — лобоподии, которыми ползают и захватывают пищу.
2. **Гибкая клетка:** наружной жёсткой стенки нет, поэтому тело легко меняет очертания.
3. **Особенности деления:** ядро делится «под закрытой крышкой» — оболочка почти не распадается, а веретено формируется внутри.
4. **Дыхательные органоиды:** митохондрии, если есть, имеют трубчатые кристы; у некоторых паразитических форм митохондрий вовсе нет.
5. **Запас питательных веществ — гликоген,** поэтому клетки хорошо переносят голод и высыхание.
6. **Жизненные циклы бывают одно- и многоядерные:** у части видов клетки могут объединяться в общий плазмодий или образовывать слизевиковые плодовые тела.
7. **Среда обитания:** пресные воды, почвы, мох, кишечник животных — от свободноживущих хищников до опасных паразитов человека.



Организм	Среда обитания	GC
Entamoeba nuttalli P19	Кишечник макак	25%
Acanthamoeba castellanii	Почва, пресная вода, и т. д.	58,5%
Dictyostelium discoideum AX4	Почва лесов Северной Америки	22,5%
Entamoeba invadens	Кишечник рептилий	30%
Entamoeba histolytica HM-1:IMSS	Кишечник человека	24,5%
Entamoeba dispar SAW760	Кишечник человека	24%
Entamoeba moshkovskii	Вода, почва, кишечник человека и животных	29,5%
Dictyostelium purpureum	Почва и подстилка из опавших листьев в лесах и полях	24,5%
Acanthamoeba lenticulata	Пресные/солончатые водоёмы, влажная почва, контактные линзы	58,5%
Dictyostelium firmibasis	Почвенная среда Японии	24%

## *Entamoeba histolytica* HM-1:IMSS

Кишечный паразит человека, обитает в толстом кишечнике, особенно в слепой и ободочной кишке

Количество статей на pubmed: 162

N50: 48 877 (Scaffold), 29 517 (Contig)

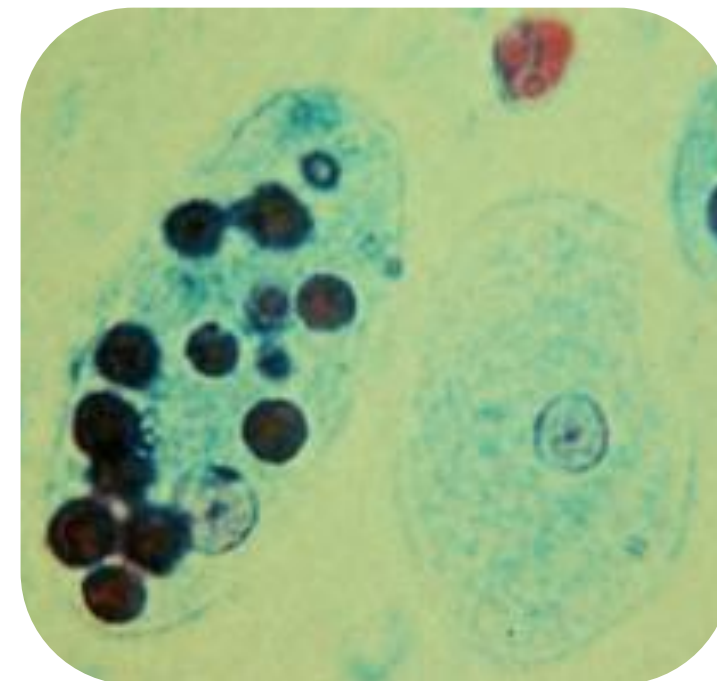
Число генов: 8 327

Длина генома: 20 835 395

Примерная температура: 37 °C

### Эпигенетика *Entamoeba histolytica* HM-1:

- **Гистоны:** H2A, H2B, H3, H4 присутствуют в нуклеосомах.
- **Модификации H4:** Ацетилирование по K5, K8, K12, K16. Монометилирование H4R3 — связано с регуляцией транскрипции.
- **Модификации H3:** H3K4me3 — активация транскрипции. H3K27me2 — репрессия транскрипции.
- **Метилирование ДНК:** Осуществляется ферментом DNMT2 (Ehmeth), преимущественно в повторяющихся элементах (LINE-подобные). Влияет на малую долю генов.



## Entamoeba nuttalli P19

Кишечный паразит диких резус-макак Катманду, Непал

N50: 7 707

Количество статей на pubmed: 35

Число генов: 6 193

Длина генома: 14 399 953

Примерная температура): 35-37 °C

Проведенный филогенетический анализ показал, что *E. nuttalli* P19 является ближайшим родственником *E. histolytica* (PMID: [31805050](#))

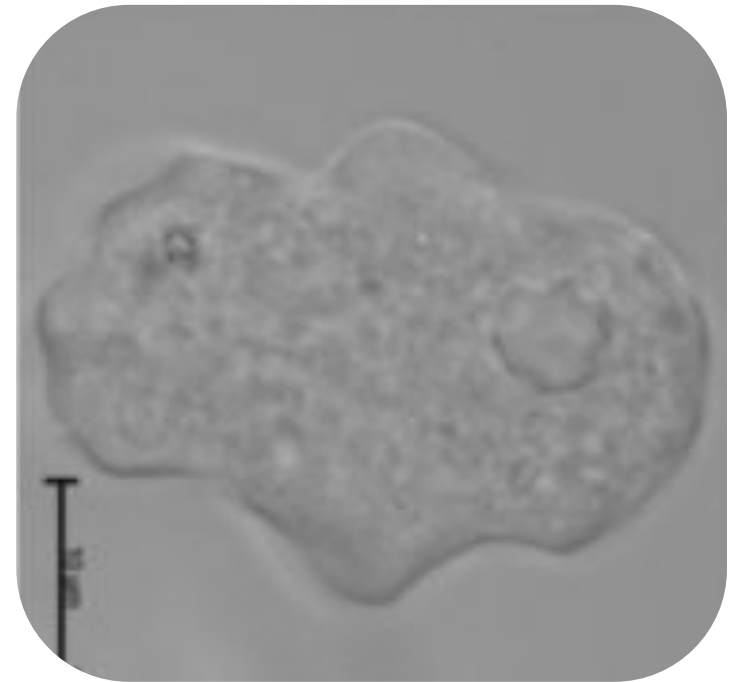
**Ацетилирование** (PMID: [19471966](#)):

- Гистон H4 — ацетилирование на лизинах K8 и K12
- Гистон H3 — ацетилирование на K9 и K14

**Метилирование:**

- Гистон H3 — метилирование на K4 (H3K4me) связано с активными генами
- Гистон H3 — метилирование на K9 (H3K9me) обычно связано с репрессией транскрипции и формированием гетерохроматина.

**ДНК:** Метилирование цитозина в CpG ферментом DNMT2 (Ehmeth) (PMID: [19471966](#)), по BLASTp у этого гена есть гомолог у *nuttalli* (98.76%) - [DNA \(cytosine-5\)-methyltransferase, putative](#)





# *Acanthamoeba castellanii*

## Свободноживущий амебоидный протозой

Contig N50: 45 kb

Scaffold N50: 344.2 kb

Статей на Pubmed: 1557

Число генов: 15 650

Длина генома: 42 Mb

Места обитания: Почва, пресная вода, и т. д.

Примерная температура: 20-30 °C

### ДНК-метилирование

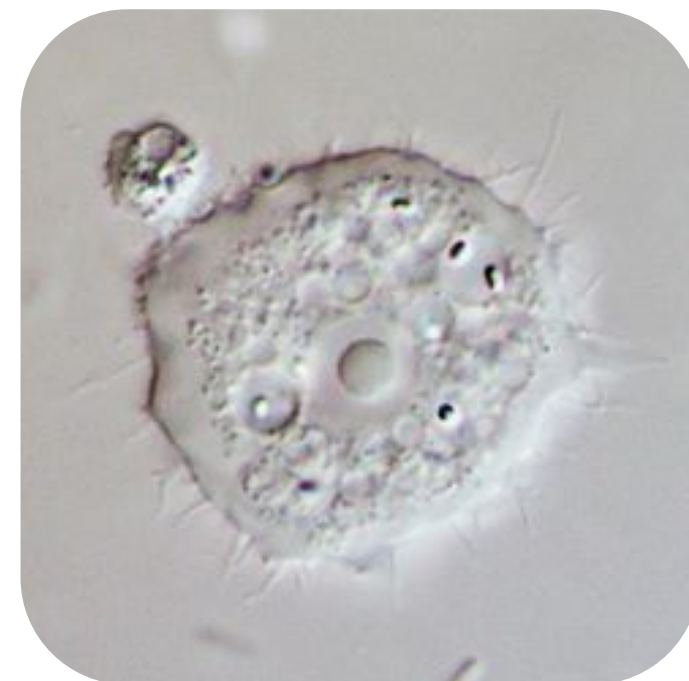
В геноме присутствуют метилцитозины; при энцистировании меняется метилирование участков промотора, что регулирует экспрессию цист-специфических генов.

### Гистоновые модификации

- Транскриптомный анализ выявил дифференциальную регуляцию десятков метил- и ацетилтрансфераз, а также деацетилаз семейства Sir2;
- Ингибиторы классов II HDAC показали анти-пролиферативный и анти-энцистационный эффект, что косвенно подтверждает ключевую роль гистон-деацетилаз

### Хроматин-топология

~25 макротенных континга с теломерными повторами, TAD-подобную архитектуру и динамическое перераспределение гетерохроматина (обогащение H3K9me3) при инфекции *Legionella pneumophila*







## *Dictyostelium discoideum* AX4

### Социальная амёба из почв лесов Северной Америки

N50: 5 450 249

Количество статей на pubmed: 12

Число генов: 13 961

Длина генома: 34 126 409

Примерная температура): 20–25 °C

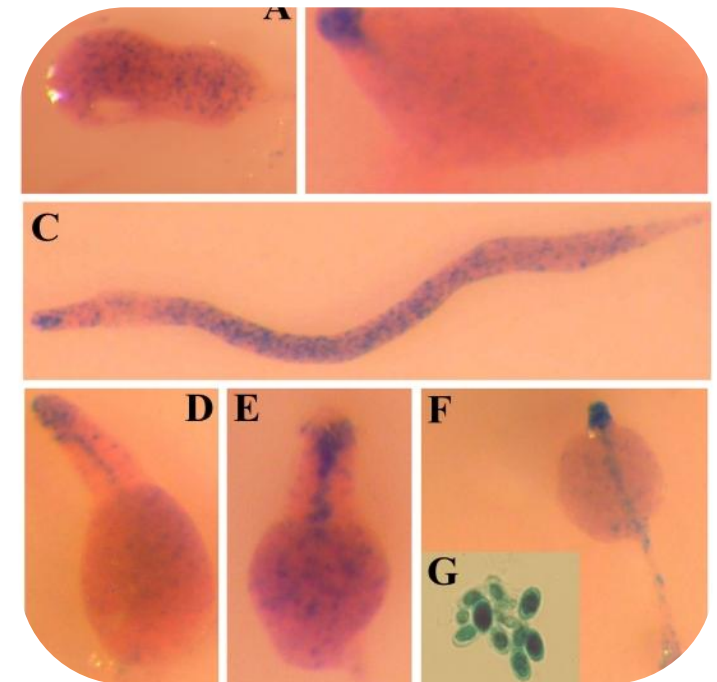
Кластеры с центромерами и транспозонами покрыты меткой H3K9me<sub>2/3</sub>, с которой связываются белки HP1 (HcrA/HcrB), формируя стабильный гетерохроматин.

5-метилцитозин встречается редко (около 11 участков), его добавляет фермент DnmA.

Метка 6mA (N6-метиладенин) чаще всего встречается в активных генах и рядом с мобильными элементами.

При дифференцировке меняется структура хроматина — изменяются уровни H3K4me<sub>1/2/3</sub> и H3K27ac, формируются ТАД-подобные домены (~200 кб), ограниченные парами генов.

Гистоны и модификации: H2A, H2B, H3, H4, H3K4me<sub>1/2/3</sub>, H3K9me<sub>2/3</sub>, H3K27ac, H4K5/8/12/16.





## *Entamoeba invadens*

### Паразит, обитающий в кишечнике рептилий

Scaffold N50 243.2 kb

Contig N50 18.6 kb

Количество статей на pubmed: 363

Число генов: 12007

Длина генома: 40.9 Mb

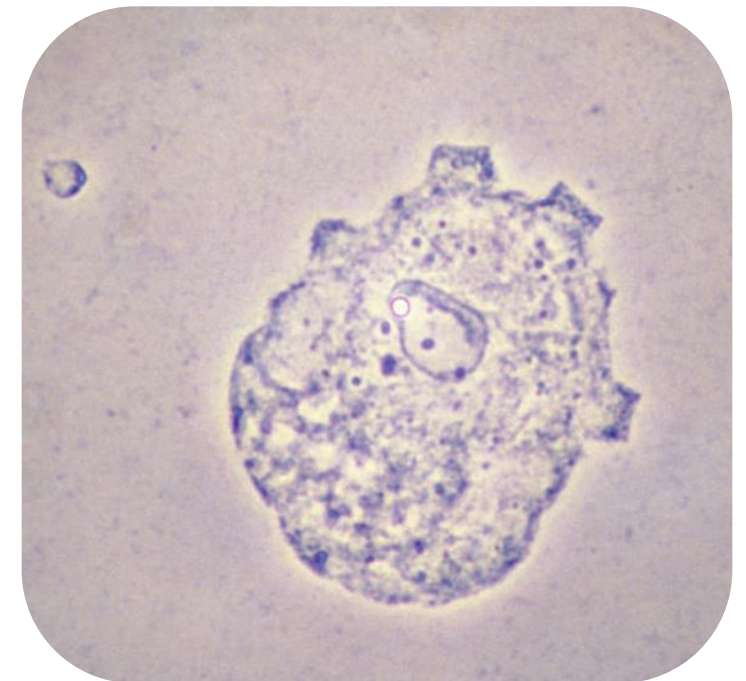
Примерная температура: 22-30 °C

#### Эпигенетика:

Жизненный цикл включает трофозоиты и многоядерные неделящиеся цисты. Крупные семейства генов (протеинкиназы, фосфатазы, РНК-связывающие белки) указывают на важность перемещения в организме хозяина и передачи сигналов об изменении окр. среды для выживания.

Геном схож с *E. histolytica*, а также содержит множество повторов и половина генома представлена в виде скаффолдов. Следовательно, сложно понять точную структуру и регуляцию генов

Гистоновые модификации, особенно ацетилирование белка H4 в определённых местах (K5, K8, K12, K16), важны для перехода амёбы в цисту. Когда образуется циста, уровень ацетилирования становится ниже.





## Entamoeba dispar SAW760

Вид амёб, колонизирующий кишечник человека без инвазивных последствий

N50: 13.2 kb(Scaffold), 5.8 kb(Contig)

Количество статей на pubmed: 1050

Число генов: 8814

Длина генома: 30.6 Mb

Примерная температура: 36.8-37.6 °C

### Эпигенетика:

Геном богат АТ-последовательностями и содержит повторяющиеся элементы. В этом виде присутствуют **канонические гистоны(Н2А, Н2В, Н3 и Н4)**.

**Ацетилирование гистона Н4:** обнаружено на остатках K5, K8, K12 и K16.

**Н3K4me2/3:** ассоциировано с активной транскрипцией.

**Н3K27me2:** связано с репрессией генов, особенно тех, которые подавляются посредством РНК-интерференции.

**Метилирование аргинина:** фермент EhPRMT1 катализирует диметилирование аргинина на гистоне Н4





# *Naegleria fowleri*

## Поражающая нервную систему амеба

N50: 717 491

Количество статей на pubmed: 226

Число генов: 13 854

Длина генома: 29.5 Mb

Примерная температура: 25-30 °C

### Эпигенетика:

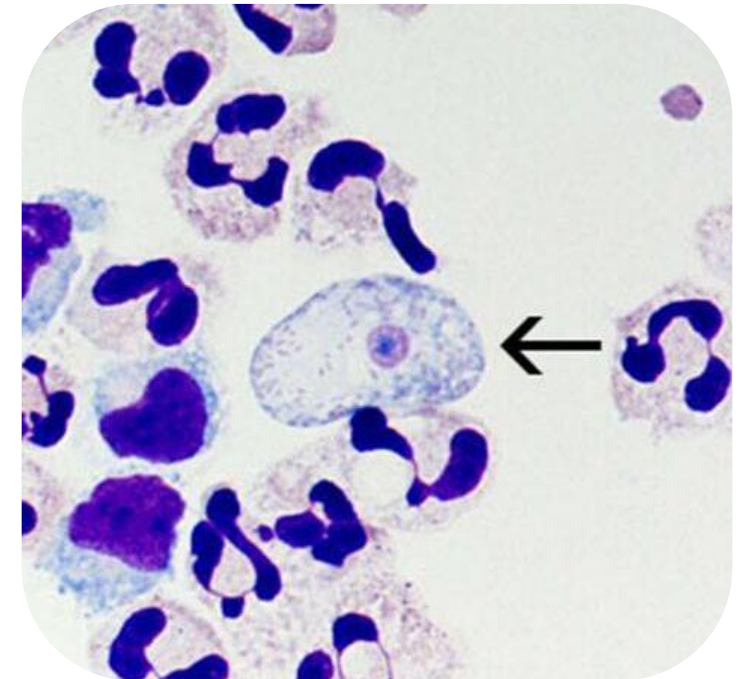
Большинство сведений получено из исследований близкородственного вида *Entamoeba histolytica*.

В *E. histolytica* были идентифицированы гомологи гистоновых ацетилтрансфераз (HAT) семейств GCN5 и MYST, а также гистоновых деацетилаз (HDAC), включая классы I и Sir2-подобные ферменты.

Ацетилирование гистонов H3 и H4 связано с активацией транскрипции, тогда как деацетилирование может приводить к репрессии генов.

Диметилирование лизина 27 гистона H3 (H3K27me2) ассоциировано с репрессией транскрипции и формированием гетерохроматина, тогда как метилирование лизина 4 гистона H3 (H3K4me) связано с активными генами.

В *E. histolytica* обнаружен фермент DNMT2 (Ehnmeth), ответственный за метилирование цитозина в CpG-островках. Метилирование ДНК участвует в регуляции экспрессии генов и может быть связано с патогенностью паразита.



# *Dictyostelium purpureum*

Социальная амёба обитает в почве и подстилке из опавших листьев в лесах и полях

N50: 45.2 kb(Contig), 66.9 kb (Scaffold)

Количество статей на pubmed: 66

Число генов: 12 399

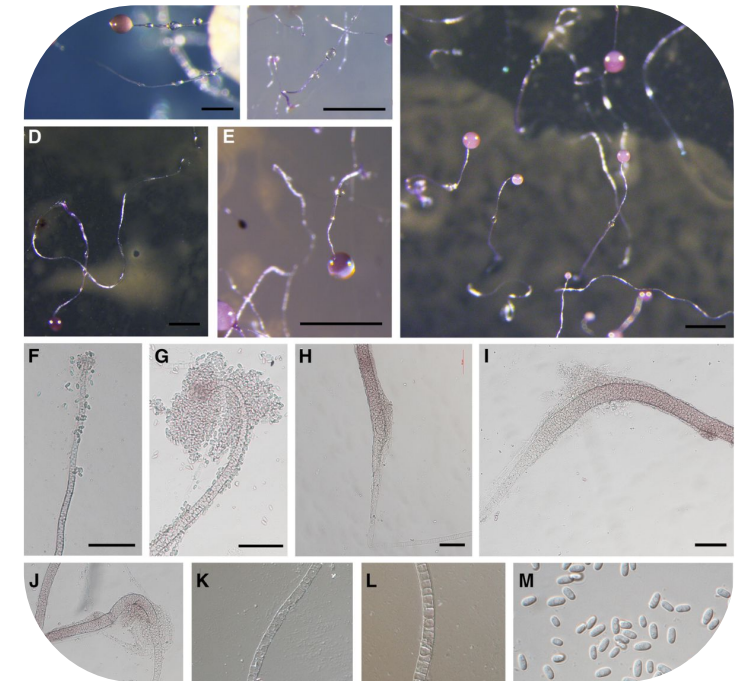
Длина генома: 33 Mb

Примерная температура: 20-25 °C (способен выжить при 10-28)

## Эпигенетика:

Есть ген *Dr dmtA*, кодирующий метилтрансферазу, участвующую в синтезе сигнальной молекулы DIF-1, которая необходима для формирования плодового тела.

GC-содержание в геноме составляет около 22–25%, но в в специфических участках, особенно в функционально значимых некодирующих РНК может достигать 32–41%.





## *Acanthamoeba lenticulata*

**ЭТО ВИД СВОБОДНОЖИВУЩИХ АМЁБ, ОТНОСЯЩИЙСЯ К ТИПУ САРКОДОВЫЕ ЖГУТИКОНОСЦЫ**

N50: 16.6 kb(Scaffold), 16.6 kb(Contig)

Количество статей на pubmed: 57

Число генов: 15 650

Длина генома: 75.6 Mb

Примерная температура: 25-30°C

Места обитания: пресные/соленоватые водоёмы, влажная почва, водопровод, кондиционеры, контактные линзы(при плохой гигиене)

### **Эпигенетика:**

Высокая пластичность: Геном содержит множество мобильных элементов и повторов, что характерно для свободноживущих амёб.

Горизонтальный перенос генов: До 5% генов могут быть заимствованы у бактерий (например, гены метаболизма).

Интроны: Некоторые гены содержат до 6 интронов — рекорд среди одноклеточных.

Присутствуют основные гистоны (H2A, H2B, H3, H4) - Обнаружены ферменты, модифицирующие гистоны: Гистон-ацетилтрансферазы (HATs), Гистон-деацетилазы (HDACs), Гистон-метилтрансферазы (HMTs); Модификации гистонов могут регулировать переход между трофозоитной и цистной формами.

Метилирование ( H3K4me, H3K9me, H3K27me) - уровень метилирования низкий







## ***Dictyostelium firmbasis* TNS-C-14**

амеба обитающая в почве во влажных лесах

Contig N50: 4.9 Mb

Scaffold N50: 4.9 Mb

Статей на Pubmed: 13

Длина генома: 31.4 Mb

Примерная температура: 20-24 °C

### **Эпигенетика:**

Геном содержит нуклеосомные гистоны H2A, H2B, H3 и H4. У генома имеется полноценный аппарат гистоновых модификаций (то есть существуют гены, ассоциированные с гистоновой ацетилизацией и метилированием)

### **Гистоновые модификации**

- Ацетилизирование гистонов. В геноме найден ряд GNAT-подобных ацетилтрансфераз
- Метилирование гистонов. У генома имеется минимум два белка-протеин аргинин-метилтрансферазы (PRMT): AcPRMT1 и AcPRMT5 (аналогичные CARM1 и PRMT5 у людей)

### **Состояния**

Содержит два основных состояния. Амебиодная- свободноживущая амеба, питается бактериями.

Агрегация – происходит при голодании, клетки начинают двигаться к источникам АМФ





