

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Факультет «Информатика и системы управления»

Кафедра «Системы обработки информации и управления»



## **Лабораторная работа № 5**

**по дисциплине «Методы машинного обучения»**

**Обучение на основе временных различий**

ИСПОЛНИТЕЛЬ:

студент ИУ5-23М

Анцифров Н.С.

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ:

Гапанюк Ю. Е.

\_\_\_ " \_\_\_\_\_ " 2024 г.

Москва, 2024

---

# Задание лабораторной работы

На основе рассмотренного на лекции примера реализуйте следующие алгоритмы:

- SARSA;
- Q-обучение;
- двойное Q-обучение.

для любой среды обучения с подкреплением (кроме рассмотренной на лекции среды Toy Text / Frozen Lake) из библиотеки Gym (или аналогичной библиотеки).

## Выполнение работы

### Описание среды

Возьмём из библиотеки Gym среду Taxi-v3: [https://www.gymnasium.dev/environments/toy\\_text/taxi/](https://www.gymnasium.dev/environments/toy_text/taxi/)

Задача представляет собой задачу о такси из книги Тома Диттериха "Обучение с иерархическим подкреплением с помощью декомпозиции функции MAXQ Value".

На карте есть 4 определенных места, обозначенных R(ed), G(reen), Y(ellow) и B(lue). Когда начинается поездка, такси выезжает из случайного квадрата, а пассажир оказывается в случайном месте. Такси подъезжает к месту нахождения пассажира, забирает его, отвозит в пункт назначения (другое из 4 указанных мест), а затем высаживает пассажира. Как только пассажир высажен, поездка заканчивается.

Есть 500 состояний:

- карта размером 5x5;
- 4 локации;
- 5 состояний пассажира (4 выхода и в такси).

Есть 6 действий:

- 0: двигаться на юг;
- 1: двигаться на север;
- 2: двигаться на запад;
- 3: двигаться на восток;
- 4: посадить пассажира;
- 5: высадить пассажира.

Существует 400 состояний, до которых можно добраться во время поездки. Пропущенные состояния соответствуют ситуациям, в которых пассажир находится в том же месте, что и пункт назначения, поскольку это обычно сигнализирует об окончании поездки. 4 дополнительных состояния можно наблюдать сразу после успешного завершения поездки, когда и пассажир, и такси находятся в пункте назначения. Всего получается 404 доступных дискретных состояния.

Каждое пространство состояний представлено кортежем: (taxi\_row, taxi\_col, passenger\_location, destination).

Точки посадки пассажира:

- 0: R(ed);
- 1: G(reen);
- 2: Y(ellow);
- 3: B(lue);
- 4: в такси.

Пункты назначения (пункты высадки):

- 0: R(ed);
- 1: G(reen);
- 2: Y(ellow);
- 3: B(lue).

Награды:

- -1 за каждый шаг, если не предусмотрено иное вознаграждение;
- +20 за доставку пассажира;
- -10 за некорректное выполнение действий "погрузка" и "высадка".

## Код программы

Импорт библиотек:

```
In [1]:
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import gym
from tqdm import tqdm
```

Базовый агент:

```
In [2]:
class BasicAgent:
    """
    Базовый агент, от которого наследуются стратегии обучения
    """
```

```
    # Наименование алгоритма
    ALGO_NAME = '---'
```

```
    def __init__(self, env, eps=0.1):
        # Среда
        self.env = env
        # Размерности Q-матрицы
        self.nA = env.action_space.n
        self.nS = env.observation_space.n
        # и сама матрица
        self.Q = np.zeros((self.nS, self.nA))
        # Значения коэффициентов
        # Порог выбора случайного действия
        self.eps = eps
        # Награды по эпизодам
        self.episodes_reward = []
```

```
    def print_q(self):
        print('Вывод Q-матрицы для алгоритма ', self.ALGO_NAME)
        print(self.Q)
```

```
def get_state(self, state):
    """
    Возвращает правильное начальное состояние
    """
    if type(state) is tuple:
        # Если состояние вернулось с виде кортежа, то вернуть только номер состояния
        return state[0]
    else:
        return state
```

```
def greedy(self, state):
    """
    <<Жадное>> текущее действие
    Возвращает действие, соответствующее максимальному Q-значению
    для состояния state
    """
    return np.argmax(self.Q[state])
```

```
def make_action(self, state):
    """
    Выбор действия агентом
    """
    if np.random.uniform(0,1) < self.eps:
        # Если вероятность меньше eps
        # то выбирается случайное действие
        return self.env.action_space.sample()
    else:
        # иначе действие, соответствующее максимальному Q-значению
        return self.greedy(state)
```

```
def draw_episodes_reward(self):
    # Построение графика наград по эпизодам
    fig, ax = plt.subplots(figsize = (15,10))
    y = self.episodes_reward
    x = list(range(1, len(y)+1))
    plt.plot(x, y, '-', linewidth=1, color='green')
    plt.title('Награды по эпизодам')
    plt.xlabel('Номер эпизода')
    plt.ylabel('Награда')
    plt.show()
```

```
def learn():
    """
    Реализация алгоритма обучения
    """
    pass
```

SARSA:

In [3]:

```

class SARSA_Agent(BasicAgent):
    """
    Реализация алгоритма SARSA
    """
    # Наименование алгоритма
    ALGO_NAME = 'SARSA'

    def __init__(self, env, eps=0.4, lr=0.1, gamma=0.98, num_episodes=20000):
        # Вызов конструктора верхнего уровня
        super().__init__(env, eps)
        # Learning rate
        self.lr = lr
        # Коэффициент дисконтирования
        self.gamma = gamma
        # Количество эпизодов
        self.num_episodes = num_episodes
        # Постепенное уменьшение eps
        self.eps_decay = 0.00005
        self.eps_threshold = 0.01

    def learn(self):
        """
        Обучение на основе алгоритма SARSA
        """
        self.episodes_reward = []
        # Цикл по эпизодам
        for ep in tqdm(list(range(self.num_episodes))):
            # Начальное состояние среды
            state = self.get_state(self.env.reset())
            # Флаг штатного завершения эпизода
            done = False
            # Флаг нештатного завершения эпизода
            truncated = False
            # Суммарная награда по эпизоду
            tot_rew = 0

            # По мере заполнения Q-матрицы уменьшаем вероятность случайного выбора действия
            if self.eps > self.eps_threshold:
                self.eps -= self.eps_decay

            # Выбор действия
            action = self.make_action(state)

            # Проигрывание одного эпизода до финального состояния
            while not (done or truncated):
                # Выполняем шаг в среде
                next_state, rew, done, truncated, _ = self.env.step(action)

                # Выполняем следующее действие
                next_action = self.make_action(next_state)

                # Правило обновления Q для SARSA
                self.Q[state][action] = self.Q[state][action] + self.lr * \
                    (rew + self.gamma * self.Q[next_state][next_action] - self.Q[state][action])

                # Следующее состояние считаем текущим
                state = next_state
                action = next_action
            # Суммарная награда за эпизод
            tot_rew += rew
            if (done or truncated):
                self.episodes_reward.append(tot_rew)

```

Q-обучение:

In [4]:

```
class QLearning_Agent(BasicAgent):
    """
    Реализация алгоритма Q-Learning
    """
    # Наименование алгоритма
    ALGO_NAME = 'Q-обучение'

def __init__(self, env, eps=0.4, lr=0.1, gamma=0.98, num_episodes=20000):
    # Вызов конструктора верхнего уровня
    super().__init__(env, eps)
    # Learning rate
    self.lr=lr
    # Коэффициент дисконтирования
    self.gamma = gamma
    # Количество эпизодов
    self.num_episodes=num_episodes
    # Постепенное уменьшение eps
    self.eps_decay=0.00005
    self.eps_threshold=0.01

def learn(self):
    """
    Обучение на основе алгоритма Q-Learning
    """
    self.episodes_reward = []
    # Цикл по эпизодам
    for ep in tqdm(list(range(self.num_episodes))):
        # Начальное состояние среды
        state = self.get_state(self.env.reset())
        # Флаг штатного завершения эпизода
        done = False
        # Флаг нештатного завершения эпизода
        truncated = False
        # Суммарная награда по эпизоду
        tot_rew = 0

        # По мере заполнения Q-матрицы уменьшаем вероятность случайного выбора действия
        if self.eps > self.eps_threshold:
            self.eps -= self.eps_decay

        # Проигрывание одного эпизода до финального состояния
        while not (done or truncated):

            # Выбор действия
            # В SARSA следующее действие выбиралось после шага в среде
            action = self.make_action(state)

            # Выполняем шаг в среде
            next_state, rew, done, truncated, _ = self.env.step(action)

            # Правило обновления Q для SARSA (для сравнения)
            #  $self.Q[state][action] = self.Q[state][action] + self.lr * \backslash$ 
            #  $(rew + self.gamma * self.Q[next\_state][next\_action] - self.Q[state][action])$ 

            # Правило обновления для Q-обучения
            self.Q[state][action] = self.Q[state][action] + self.lr * \
                (rew + self.gamma * np.max(self.Q[next_state]) - self.Q[state][action])

            # Следующее состояние считаем текущим
            state = next_state
        # Суммарная награда за эпизод
```

```

tot_rew += rew
if (done or truncated):
    self.episodes_reward.append(tot_rew)

```

Двойное Q-обучение:

In [5]:

```

class DoubleQLearning_Agent(BasicAgent):
    """
    Реализация алгоритма Double Q-Learning
    """
    # Наименование алгоритма
    ALGO_NAME = 'Двойное Q-обучение'

    def __init__(self, env, eps=0.4, lr=0.1, gamma=0.98, num_episodes=20000):
        # Вызов конструктора верхнего уровня
        super().__init__(env, eps)
        # Вторая матрица
        self.Q2 = np.zeros((self.nS, self.nA))
        # Learning rate
        self.lr=lr
        # Коэффициент дисконтирования
        self.gamma = gamma
        # Количество эпизодов
        self.num_episodes=num_episodes
        # Постепенное уменьшение eps
        self.eps_decay=0.00005
        self.eps_threshold=0.01

    def greedy(self, state):
        """
        <<Жадное>> текущее действие
        Возвращает действие, соответствующее максимальному Q-значению
        для состояния state
        """
        temp_q = self.Q[state] + self.Q2[state]
        return np.argmax(temp_q)

    def print_q(self):
        print('Вывод Q-матриц для алгоритма ', self.ALGO_NAME)
        print('Q1')
        print(self.Q)
        print('Q2')
        print(self.Q2)

    def learn(self):
        """
        Обучение на основе алгоритма Double Q-Learning
        """
        self.episodes_reward = []
        # Цикл по эпизодам
        for ep in tqdm(list(range(self.num_episodes))):
            # Начальное состояние среды
            state = self.get_state(self.env.reset())
            # Флаг штатного завершения эпизода
            done = False
            # Флаг нештатного завершения эпизода
            truncated = False
            # Суммарная награда по эпизоду
            tot_rew = 0

            # По мере заполнения Q-матрицы уменьшаем вероятность случайного выбора действия
            if self.eps > self.eps_threshold:

```

```
self.eps -= self.eps_decay
```

```
# Проигрывание одного эпизода до финального состояния  
while not (done or truncated):
```

```
# Выбор действия
```

```
# В SARSA следующее действие выбиралось после шага в среде
```

```
action = self.make_action(state)
```

```
# Выполняем шаг в среде
```

```
next_state, rew, done, truncated, _ = self.env.step(action)
```

```
if np.random.rand() < 0.5:
```

```
# Обновление первой таблицы
```

```
self.Q[state][action] = self.Q[state][action] + self.lr * \  
    (rew + self.gamma * self.Q2[next_state][np.argmax(self.Q[next_state])] - self.Q[state][action])
```

```
else:
```

```
# Обновление второй таблицы
```

```
self.Q2[state][action] = self.Q2[state][action] + self.lr * \  
    (rew + self.gamma * self.Q[next_state][np.argmax(self.Q2[next_state])] - self.Q2[state][action])
```

```
# Следующее состояние считаем текущим
```

```
state = next_state
```

```
# Суммарная награда за эпизод
```

```
tot_rew += rew
```

```
if (done or truncated):
```

```
    self.episodes_reward.append(tot_rew)
```

Функции для запуска:

In [6]:

```
def play_agent(agent):
```

```
    """
```

```
    Проигрывание сессии для обученного агента
```

```
    """
```

```
    env2 = gym.make('Taxi-v3', render_mode='human')
```

```
    state = env2.reset()[0]
```

```
    done = False
```

```
    while not done:
```

```
        action = agent.greedy(state)
```

```
        next_state, reward, terminated, truncated, _ = env2.step(action)
```

```
        env2.render()
```

```
        state = next_state
```

```
        if terminated or truncated:
```

```
            done = True
```

In [7]:



```
def run_sarsa():
    env = gym.make('Taxi-v3')
    agent = SARSA_Agent(env)
    agent.learn()
    agent.print_q()
    agent.draw_episodes_reward()
    play_agent(agent)
```

```
def run_q_learning():
    env = gym.make('Taxi-v3')
    agent = QLearning_Agent(env)
    agent.learn()
    agent.print_q()
    agent.draw_episodes_reward()
    play_agent(agent)
```

```
def run_double_q_learning():
    env = gym.make('Taxi-v3')
    agent = DoubleQLearning_Agent(env)
    agent.learn()
    agent.print_q()
    agent.draw_episodes_reward()
    play_agent(agent)
```

## Работа программы

SARSA:

In [8]:

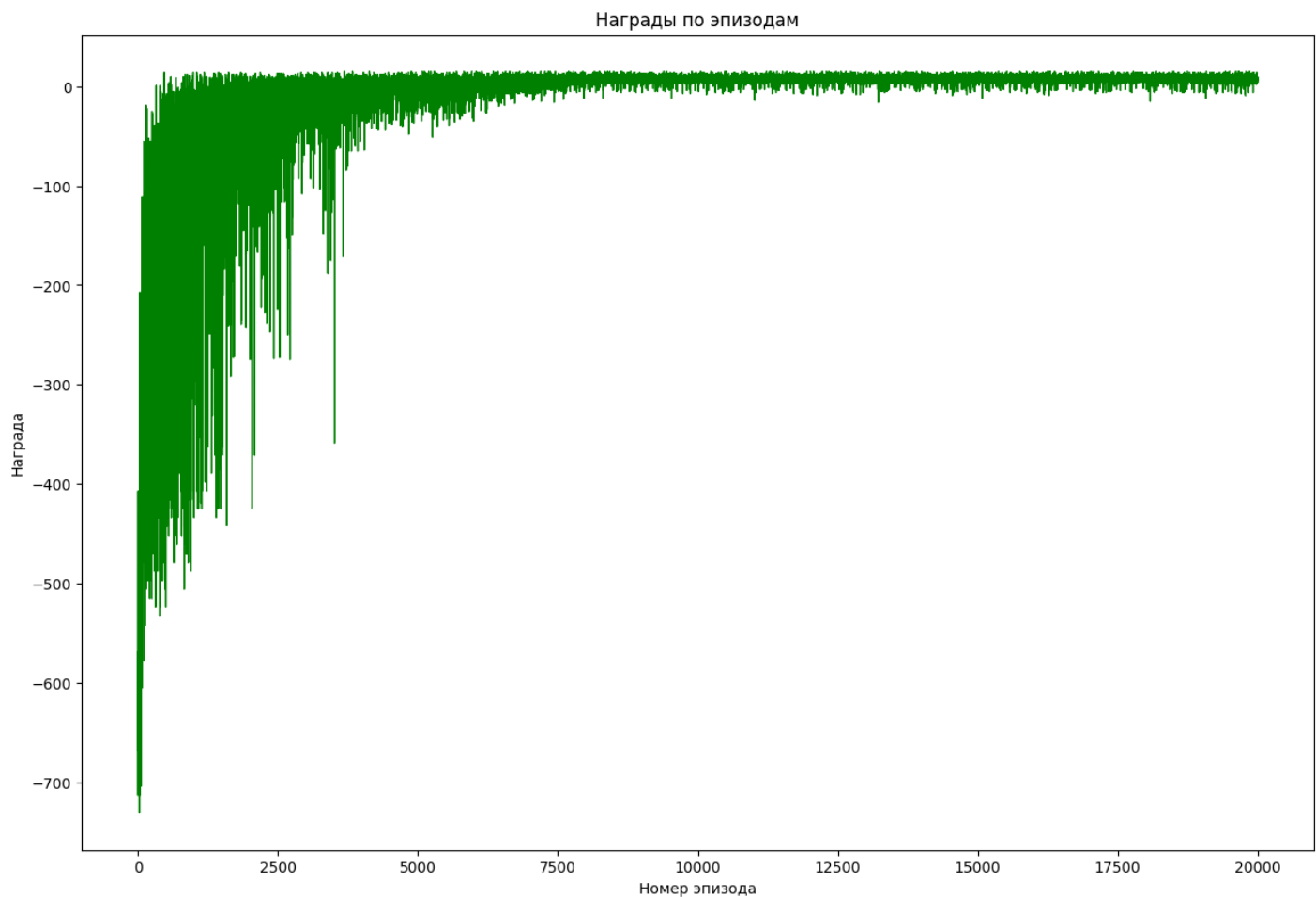
```
run_sarsa()
```

0% | 0/20000 [00:00<?, ?it/s]C:\Users\firry\AppData\Local\Programs\Python\Python312\Lib\site-packages\gym\utils\passive\_env\_checker.py:233: DeprecationWarning: `np.bool8` is a deprecated alias for `np.bool\_`. (Deprecated NumPy 1.24)  
if not isinstance(terminated, (bool, np.bool8)):

100% 20000/20000 [00:26<00:00, 749.81it/s]

Вывод Q-матрицы для алгоритма SARSA

```
[[ 0.  0.  0.  0.  0.
  0. ]
 [-3.66358173 -4.59983698 -7.24609845 -2.37768867  7.93968801
 -13.14071415]
 [ 2.39822195  3.22328384 -3.14934767  4.80896515 12.69143178
 -4.94059867]
 ...
 [ 3.92552242 14.45137678  2.55311667  3.30376177 -2.53437483
 -2.09067846]
 [-6.74117706 -6.36878688 -7.13395098  3.18980357 -12.32819366
 -14.31773767]
 [ 2.5944272  0.87971299 -0.03442538 17.84785827 -1.03736485
 -5.52163908]]
```

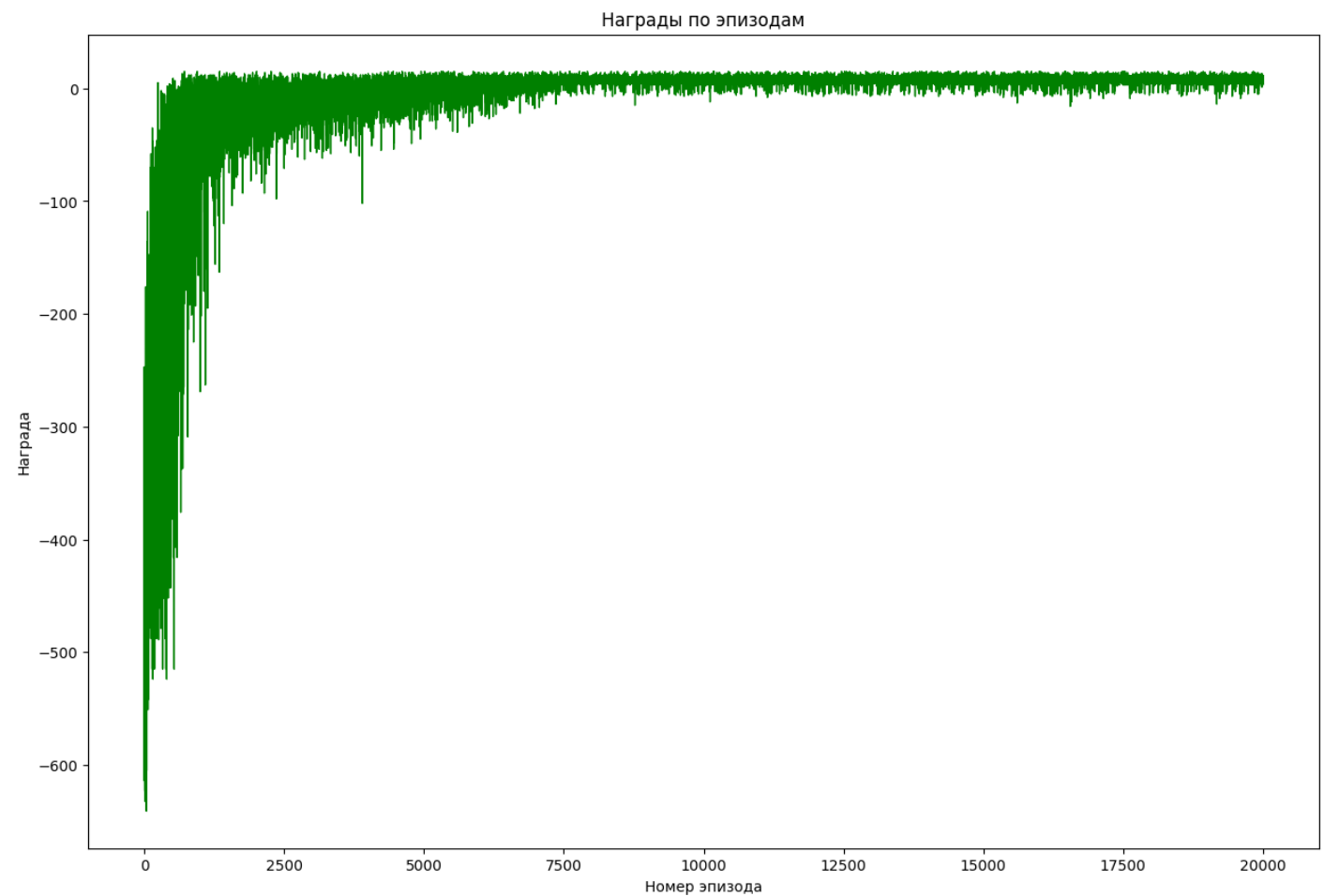


Q-обучение:

In [9]:

run\_q\_learning()

100% 20000/20000 [00:27<00:00, 718.14it/s]  
Вывод Q-матрицы для алгоритма Q-обучение  
[[ 0. 0. 0. 0. 0. 0. ]  
 [ 4.94892692 6.31427444 3.3065194 5.84176744 8.36234335 -3.07764032]  
 [ 9.42207947 10.94983909 8.57726824 11.65292067 13.27445578 2.28585815]  
 ...  
 [-0.58014039 11.2943735 -1.27407836 0.38579136 -4.82193482 -3.54854266]  
 [-2.53574629 7.08990606 -1.61815446 -1.25115604 -8.62816954 -7.16174347]  
 [10.87478324 9.81549619 13.05481371 18.59999999 5.13328814 5.33271154]]



Двойное Q-обучение:

In [10]:  
run\_double\_q\_learning()

Вывод Q-матриц для алгоритма Двойное Q-обучение

Q1

```
[[ 0.      0.      0.      0.      0.      0.      ]
 [ 1.64741084  1.93482408 -0.14745692  1.36747385  8.36234335 -5.0746492 ]
 [ 7.1427645   9.19356892  5.53489319  8.7899762  13.27445578  0.51539363]
 ...
 [-1.44356188  7.27948424 -1.51409673 -0.24910525 -3.01626687 -2.26601431]
 [-3.40866072 -2.99100405 -3.27416291  6.91363734 -5.15180328 -4.60842005]
 [ 1.79232883  2.63235504  3.36859931 18.48108681  0.      0.25416393]]
```

Q2

```
[[ 0.      0.      0.      0.      0.      0.      ]
 [-0.41132706  0.84499169 -2.26345792  1.17103354  8.36234335 -5.44535199]
 [ 7.20017484  9.62853491  3.91580586  7.76672348 13.27445578  0.77359851]
 ...
 [-1.29510523  9.50453252 -1.43377333  0.35495819 -5.22197132 -4.35252715]
 [-2.22902726 -3.57127776 -2.67577989  5.90904088 -4.70042635 -7.04617935]
 [ 2.56112286  1.5250639   3.65709816 18.29578535 -0.20868566 -1.01967452]]
```

Награды по эпизодам

