

Изменения:

1. Инфекция стала 3-х ступенчатой:

Стадия 1 (латентная):

- Опухоли маленькие, не видны
- Очень низкая передача ($\times 0.1$)
- Низкая смертность (2% максимум)
- Большинство выживает

Стадия 2 (инфекционная):

- Опухоли видны, развиваются
- Высокая передача ($\times 5.0$), особенно половая
- Умеренная смертность (10% максимум)
- Значительная часть умирает

Стадия 3 (терминальная):

- Опухоли обширные, изъязвленные
- Максимальная передача ($\times 10.0$)
- Высокая смертность (20% ежедневно + 100% в конце)
- Практически все умирают

Общая выживаемость за 240 дней: $< 5\%$ (реалистично для DFTD)

2. Исправления смерти:

1. Исправлена смертность в стадии 2 - теперь использует **stage2_duration** вместо **stage1_duration**
2. Добавлена стадия 3 с отдельной логикой смертности
3. Унифицирована терминология (стадии вместо фаз)

4. Разделены параметры для каждой стадии (инфекционность и смертность)
5. Добавлены флаги контроля передачи по путям и стадиям

По файлам:

1. ФАЙЛ: `constants.py`

НОВЫЕ КОНСТАНТЫ ИНФЕКЦИОННОСТИ:

```
python

# ---- INFECTION TRANSMISSION PARAMETERS ----
INFECTIVITY1: float = 0.3    # Базовая вероятность половой передачи (дни 0-10)
INFECTIVITY2: float = 0.01   # Базовая вероятность неполовой передачи

# ---- STAGE-SPECIFIC TRANSMISSION MULTIPLIERS ----
STAGE1_TRANSMISSION_MULTIPLIER: float = 0.1    # Латентная стадия (очень низкая)
STAGE2_TRANSMISSION_MULTIPLIER: float = 5.0    # Инфекционная стадия
STAGE3_TRANSMISSION_MULTIPLIER: float = 10.0   # Терминальная стадия

# ---- TRANSMISSION CONSTRAINTS ----
STAGE1_CAN_TRANSMIT_SEXUAL: bool = False       # Латентная НЕ передает половым
путем
STAGE1_CAN_TRANSMIT_CONTACT: bool = True       # Латентная передает контактным (с
очень низкой вероятностью)
STAGE2_CAN_TRANSMIT_SEXUAL: bool = True       # Инфекционная передает всеми путями
STAGE2_CAN_TRANSMIT_CONTACT: bool = True
STAGE3_CAN_TRANSMIT_SEXUAL: bool = True       # Терминальная передает всеми путями
STAGE3_CAN_TRANSMIT_CONTACT: bool = True
```

НОВЫЕ КОНСТАНТЫ СМЕРТНОСТИ:

```
python

# ---- DISEASE MORTALITY FACTORS BY STAGE ----
DISEASE_MORTALITY_FACTOR_STAGE1: float = 0.02  # 2% максимум для латентной
стадии
DISEASE_MORTALITY_FACTOR_STAGE2: float = 0.10  # 10% максимум для инфекционной
стадии
```

```
DISEASE_MORTALITY_FACTOR_STAGE3: float = 0.20 # 20% максимум для терминальной
стадии (плюс 100% в конце)
```

НОВЫЕ ИМЕНА КОНСТАНТ ДЛЯ СТАДИЙ БОЛЕЗНИ:

```
python
```

```
# ---- INFECTION STAGES ----
INFECTION_STAGE_HEALTHY: int = 0      # Здоров
INFECTION_STAGE_LATENT: int = 1       # Латентная (0.5-1.0 года, нет передачи)
INFECTION_STAGE_INFECTIOUS: int = 2   # Инфекционная (0.25-1.0 года, передача)

INFECTION_STAGE_TERMINAL: int = 3     # Терминальная (0.5-1.0 года, 100% смертность)
```

НОВЫЕ КОНСТАНТЫ ДЛИТЕЛЬНОСТЕЙ СТАДИЙ:

```
python
```

```
# ---- STAGE DURATIONS (в днях) ----
STAGE1_DURATION_MIN: int = 60  # 0.5 года = 60 дней
STAGE1_DURATION_MAX: int = 120 # 1.0 года = 120 дней
STAGE2_DURATION_MIN: int = 30  # 0.25 года = 30 дней
STAGE2_DURATION_MAX: int = 120 # 1.0 года = 120 дней
STAGE3_DURATION_MIN: int = 60  # 0.5 года = 60 дней

STAGE3_DURATION_MAX: int = 120 # 1.0 года = 120 дней
```

НОВЫЕ КОНСТАНТЫ УСИЛЕНИЯ ПЕРЕДАЧИ:

```
python
```

```
# ---- TRANSMISSION BOOSTS ----
STAGE2_TRANSMISSION_BOOST: float = 5.0 # Инфекционная стадия в 5 раз заразнее

STAGE3_TRANSMISSION_BOOST: float = 10.0 # Терминальная стадия в 10 раз заразнее
```

2. ФАЙЛ: infection.py

НОВАЯ ФУНКЦИЯ: calculate_transmission_probability

Формула:

text

Вероятность = StageMultiplier × DistanceFactor × (SexualComponent + NonsexualComponent)

Аргументы:

python

```
def calculate_transmission_probability(  
    state: SimulationState,  
    transmitter_indices: Tensor,  
    susceptible_indices: Tensor,  
    dist_sq_matrix: Tensor,  
    day_in_year: int,  
    infectivity1: float = INFECTIVITY1, # 0.3  
    infectivity2: float = INFECTIVITY2, # 0.01  
    stage1_multiplier: float = STAGE1_TRANSMISSION_MULTIPLIER, # 0.1  
    stage2_multiplier: float = STAGE2_TRANSMISSION_MULTIPLIER, # 5.0  
    stage3_multiplier: float = STAGE3_TRANSMISSION_MULTIPLIER, # 10.0  
    breeding_days: int = BREEDING_DAYS,  
    device: th.device = DEVICE  
) -> Tensor:
```

Компоненты формулы:

1. DistanceFactor:

python

```
distance_factor = th.clamp((MAX_RADIUS_SQ - dist_sq_matrix) / MAX_RADIUS_SQ, 0,
```

- Если расстояние = 0 → factor = 1
- Если расстояние = MAX_RADIUS → factor = 0
- Линейная зависимость от расстояния

2. StageMultiplier:

- Стадия 1 (латентная): ×0.1
- Стадия 2 (инфекционная): ×5.0
- Стадия 3 (терминальная): ×10.0

3. SexualComponent:

- Только в сезон размножения (дни 0-10)
- Только между взрослыми (STATUS_ADULT)
- Зависит от STAGE*_CAN_TRANSMIT_SEXUAL флагов
- Значение: infectivity1 (0.3)

4. NonsexualComponent:

- Всегда доступна
- Для всех резидентов
- Зависит от `STAGE*_CAN_TRANSMIT_CONTACT` флагов
- Значение: `infectivity2` (0.01)

ОБНОВЛЕННАЯ ФУНКЦИЯ: `infection_spread`

Новая логика:

1. Прогрессия болезни: Переходы между стадиями $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$
2. Инициализация длительностей: Для новых зараженных
3. Определение кто может передавать: Все резиденты на стадиях 1-3
4. Расчет вероятностей: Через `calculate_transmission_probability`
5. Применение заражения: Для каждого восприимчивого берется максимальная вероятность

Ключевое изменение:

python

Старая логика:

if day_in_year < breeding_days:

 # Сложная смесь половой и контактной передачи

else:

 # Только контактная передача

Новая логика:

prob_matrix = calculate_transmission_probability(...) # Единая формула

НОВАЯ ЛОГИКА СТАДИЙ:

Стадия 1 \rightarrow Стадия 2:

python

transition_to_stage2 = stage1_mask & (state.age_of_disease[:n] >= state.stage1_duration[:n])

Стадия 2 \rightarrow Стадия 3:

python

transition_to_stage3 = stage2_mask & \

(state.age_of_disease[:n] >= (state.stage1_duration[:n] + state.stage2_duration[:n]))

3. ФАЙЛ: `simulation_core.py` (функция `process_all_deaths`)

ПОЛНОСТЬЮ ПЕРЕПИСАННАЯ ФУНКЦИЯ `process_all_deaths`

Новая сигнатура:

```
python
def process_all_deaths(
    state: SimulationState,
    day_in_year: int,
    base_mortality: float = MORTALITY,
    disease_mortality_factor_stage1: float = DISEASE_MORTALITY_FACTOR_STAGE1, # 0.02
    disease_mortality_factor_stage2: float = DISEASE_MORTALITY_FACTOR_STAGE2, # 0.10
    disease_mortality_factor_stage3: float = DISEASE_MORTALITY_FACTOR_STAGE3, # 0.20
    dispersal_deadline: int = DISPERSAL_DEADLINE,
    maturity_age: int = AGE_JUVENILE_TO_ADULT,
    semelparous_death_day: int = 10,
    device: th.device = DEVICE
) -> None:
```

РАЗДЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА СТАДИЙ:

1. Стадия 1 (латентная):

```
python
# Используем stage1_duration в формуле
disease_death_rate = disease_mortality_factor_stage1 / (1.0 + th.exp(sigmoid_arg))

# Максимум: 2% в день
```

2. Стадия 2 (инфекционная):

```
python
# Используем stage2_duration (исправлено!)
age_in_stage2 = age_of_disease - stage1_duration # Возраст в текущей стадии
disease_death_rate = disease_mortality_factor_stage2 / (1.0 + th.exp(sigmoid_arg))

# Максимум: 10% в день
```

3. Стадия 3 (терминальная):

```
python
```

```
# Две компоненты:
```

```
# 1. Ежедневная вероятность (до 20%)
```

```
disease_death_rate = disease_mortality_factor_stage3 / (1.0 + th.exp(sigmoid_arg))
```

```
# 2. 100% смертность в конце стадии
```

```
total_duration = stage1_duration + stage2_duration + stage3_duration
```

```
death_at_end = age_of_disease >= total_duration # Гарантированная смерть
```

ФОРМУЛА СИГМОИДЫ (одинаковая для всех стадий):

```
text
```

```
sigmoid_arg = 10.0 * ((duration/2.0) + (duration/3.0) - age_in_stage) / duration
```

```
disease_death_rate = StageFactor / (1.0 + exp(sigmoid_arg))
```

Где:

- `duration` = длительность текущей стадии
- `age_in_stage` = возраст в текущей стадии
- `StageFactor` = `DISEASE_MORTALITY_FACTOR_STAGE`* (0.02, 0.10, 0.20)

4. ФАЙЛ: `state.py`

НОВЫЕ ПОЛЯ В `SimulationState`:

```
python
```

```
# Индивидуальные длительности стадий (ранее были глобальные)
```

```
stage1_duration: Tensor # Длительность латентной стадии (60-120 дней)
```

```
stage2_duration: Tensor # Длительность инфекционной стадии (30-120 дней)
```

```
stage3_duration: Tensor # Длительность терминальной стадии (60-120 дней)
```

ОБНОВЛЕННЫЕ ИМЕНА ПОЛЕЙ:

```
python
```

```
stage1_duration: Tensor # Для согласованности с новой терминологией
stage2_duration: Tensor

stage3_duration: Tensor # Новое поле
```

5. ФАЙЛ: `main.py`

ОБНОВЛЕННЫЕ ВЫЗОВЫ:

Infection spread:

```
python

infection_spread(
    simulation_state,
    distance_sq=distance_sq,
    day_in_year=day_in_year,
    infectivity1=INFECTIVITY1, # 0.3 (параметр)
    infectivity2=INFECTIVITY2, # 0.01 (параметр)
    stage1_multiplier=STAGE1_TRANSMISSION_MULTIPLIER, # 0.1
    stage2_multiplier=STAGE2_TRANSMISSION_MULTIPLIER, # 5.0
    stage3_multiplier=STAGE3_TRANSMISSION_MULTIPLIER, # 10.0
    breeding_days=BREEDING_DAYS,
    device=DEVICE
)
```

Death processing:

```
python

process_all_deaths(
    state=simulation_state,
    day_in_year=day_in_year,
    base_mortality=MORTALITY,
    disease_mortality_factor_stage1=DISEASE_MORTALITY_FACTOR_STAGE1, # 0.02
    disease_mortality_factor_stage2=DISEASE_MORTALITY_FACTOR_STAGE2, # 0.10
    disease_mortality_factor_stage3=DISEASE_MORTALITY_FACTOR_STAGE3, # 0.20
    dispersal_deadline=DISPERSAL_DEADLINE,
    maturity_age=AGE_JUVENILE_TO_ADULT,
    semelparous_death_day=SEMELPAROUS_DEATH_DAY,
    device=DEVICE
)
```

6. ФАЙЛЫ БЕЗ ИЗМЕНЕНИЙ:

genetics.py:

- Без изменений - логика наследования хромосом осталась прежней
- Функции `calculate_chrom` и `replication` работают как и раньше

physics.py:

- Без изменений - физика движения, отталкивания, притяжения к территории
- Функции `move`, `calculate_full_distance_matrix` и т.д. не изменялись

visualisation.py:

- Временные изменения вернулись к оригиналу
 - Масштаб и легенда восстановлены как было
-

7. НОВАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ В ЦЕЛОМ:

ИНФЕКЦИОННОСТЬ:

text

$$P(\text{заражения}) = \text{StageMultiplier} \times \text{DistanceFactor} \times (\text{SexualComponent} + \text{NonsexualComponent})$$

Где:

- $\text{StageMultiplier} \in \{0.1, 5.0, 10.0\}$ (по стадии)

- $\text{DistanceFactor} = (\text{MAX_RADIUS}^2 - \text{distance}^2) / \text{MAX_RADIUS}^2 \in [0, 1]$

- $\text{SexualComponent} = \text{infectivity1} \times [\text{day_in_year} < \text{breeding_days}] \times [\text{оба взрослые}]$

- $\text{NonsexualComponent} = \text{infectivity2} \times [\text{резиденты}]$

СМЕРТНОСТЬ:

text

$$P(\text{смерти_от_болезни}) = \text{StageFactor} / (1 + \exp(10 \times ((d/2) + (d/3) - a) / d))$$

Где:

- StageFactor $\in \{0.02, 0.10, 0.20\}$ (по стадии)

- d = длительность текущей стадии

- a = возраст в текущей стадии

+ Для стадии 3: 100% смертность в конце
