

Аннотация результатов, полученных в 2023 году

Целью проекта "Устойчивость и управляемость экспериментальных замкнутых экологических систем жизнеобеспечения человека: анализ данных и математическое моделирование": разработка адекватного математического описания замкнутых экологических систем человека (ЗЭСЖО) для развития технологии проектирования и создания ЗЭСЖО для различных космических и иных целей.

По этапу 2023 года получены следующие основные результаты:

1. Представлена согласованная унифицированная форма описания компонентов ЗЭСЖО, пригодная для описания 33 видов растений, грибов, мучного хрущика, почво-подобного субстрата и микробной популяции реактора для минерализации органических отходов.

2. На основании анализа литературы и экспериментальных данных выбрана оптимальная, по точности представления обменных процессов в ЗЭСЖО и сложности стехиометрического описания, форма представления ключевых химических соединений составляющих организмы (белки, жиры, углеводы, целлюлоза, лигнин) и реакции их синтеза и распада. На их основе созданы стехиометрические матрицы, связывающие прирост или разложение биомассы различных организмов с потреблением и/или выделением низкомолекулярных веществ, и позволяющие отслеживать движение химических элементов в системе.

3. Предложен начальный вариант общей структуры унифицированной математической модели ЗЭСЖО с едиными шаблонами описания растений, гетеротрофных организмов и микробной популяции.

Сформировано представление о последовательно-иерархическом построении моделей ЗЭСЖО в соответствии с объективной иерархией уровней сложности их описания. Для описания конвейерной и периодической культур растений выбрана гибкая формула, учитывающая плотность культуры, предложена модель запуска синтеза генеративной (съедобной) части растения. На основе концепции гибкого метаболизма разработаны модели организации метаболических процессов и пищевого предпочтения гетеротрофных организмов (применимы и к растениям) обеспечивающие стехиометрическое согласование потоков веществ в маловидовой замкнутой экологической системе. Эта же концепция гибкого метаболизма предлагает объяснение формирования замкнутости земной биосферы и является своеобразным мостиком связывающим изучение и проектирование экспериментальных ЗЭСЖО с исследованиями вопросов формирования и устойчивости биосферы.

4. Разработана согласованная структура базы данных по компонентам ЗЭСЖО, входящих в системы БИОС-3, ЛД-1 и 1/30Ч.

На основе анализа литературы и разработанной общей структуры модели была предложена следующая структура базы данных по компонентам ЗЭСЖО, в состав которой входит:

1. Форма регенерационного (продуценты) компонента (23 показателя).
2. Форма трансформационного (консументы) компонента (15 показателей).
3. Форма трансформационного (редуценты, физико-химические деструкторы) компонента (10 показателей).
4. Метаболическая форма человека (взрослая особь – биомасса не растет) (5 показателей).

5. Разработана корректная процедура статистической обработки данных, полученных на неполнозамкнутых ЗЭСЖО.

Получено выражение для корректной статистической оценки математического ожидания ЗЭСЖО при контролируемом обмене с внешней средой. Полученная формула

корректирует, вычисленные на основе экспериментальных данных, средние значения показателей при отклонении суммы средних от требуемого по закону сохранения. При этом величина коррекции среднего значения пропорциональна величине дисперсии данного измеряемого параметра, т.е. величине неопределенности его оценки, а знак и степень смещения всех показателей определяется знаком отклонения от закона сохранения.

6. Заполнена база данных компонентов ЗЭСЖО по данным БИОС-3 и 1/30Ч.

В качестве СУБД была принята SQLite где в качестве пользовательского интерфейса для просмотра и управления базой выбрана электронная таблица Excel. Перенос данных из скриптов из электронной таблицы в базу данных и обратно осуществляется с помощью разработанных скриптов на языке Python 3 `excelToDatabase.py` и `databaseToExcel.py`.

Заполнена база данных по данным систем БИОС-3 и 1/30Ч. Однако, поскольку данные экспериментов на этих установках исходно не включали экспериментальное определение кинетических параметров отдельных компонент системы, то полученная база данных содержит лакуны, которые будут заполнены на основе дополнительных экспериментов и анализа литературных данных.

7. Определены параметры модельного описания компонентов ЗЭСЖО в соответствии с разработанной общей структурой математической модели ЗЭСЖО (фитотрон, ф/х минерализатор, прикорневая микрофлора, почво-подобный субстрат и др.). Определена и опробована общая структура математической модели ЗЭСЖО.

На примере модели конвейерной культуры ЗЭСЖО, практически воспроизводящей структуру потоков в системе БИОС-3 опробованы параметры модельного описания компонентов системы на разных уровнях иерархии сложности. В самом простом варианте (нулевое приближение) модель ЗЭС с конвейерной культурой описывает динамику только одного элемента – углерода, поэтому в ней легко организовать 100% замыкание. В этой модели отработан блок сбора урожая и оценена реакция системы на выбывание части фотосинтетического звена.