

The 4th World Irrigation Forum (WIF4) together with the 76th International Executive Council (IEC) Meeting in cooperation with the host Malaysian National Committee on Irrigation and Drainage (MANCID) will be held from 7-13 September 2025 at Kuala Lumpur, Malaysia

# **Параметризация уравнения мелиоративного режима автотрофного звена экосистемы водосбора реки.**

**Шабанов В.В<sup>1</sup>, Бондарик И.Г<sup>2</sup>, Исаева С.Д<sup>2</sup>.**

1- Проблемная лаборатория РГАУ-МСХА - [https://www.timacad.ru/about/struktura-universiteta/nauchnye-podrazdeleniia/problemnaia-laboratoriia#549929567accordion\\_1](https://www.timacad.ru/about/struktura-universiteta/nauchnye-podrazdeleniia/problemnaia-laboratoriia#549929567accordion_1)

2 – Отдел экосистемного водопользования ВНИИГиМ;

Москва 2025

# ВВЕДЕНИЕ

- Климатические изменения на планете Земля могут привести к существенным изменениям в «воспроизводстве» кислорода в бассейнах больших рек (Амазонка, Конго и др.), в связи с изменением объема стока рек,
- Любое изменение вообеспеченности водосбора приведет к ухудшению функционирования экосистем (на 5-10 лет) и в первую очередь, автотрофного звена.
- Изменение водообеспеченности автотрофного звена водосборного бассейна, уменьшит фотосинтез и «производство кислорода».
- В работе рассматриваются вопросы управления автотрофным звеном экосистемы на водосборе в условиях изменения климата.
- Подчеркивается, что от состояния природных и антропогенных экосистем водосбора во многом зависит "водность" водотоков.
- Вводится понятие «мелиоративный режим экосистемы водосбора», который начинается с автотрофного звена.
- Констатируется, что мелиоративный режим природных экосистем водосбора может быть описан количественно, аналогично мелиоративному режиму сельскохозяйственных растений.
- Отмечается, что основным фактором внешней среды для экосистемы водосбора, является объём стока.
- Приводится уравнение мелиоративного режима природной экосистемы водосбора, относительно объёма стока.

## ВВЕДЕНИЕ (2)

- Приводится аналитическое уравнение зависимости параметров мелиоративного режима водосбора, от объёма стока и ширины диапазона саморегулирования экосистемы на уровне 80% от максимальной продуктивности автотрофного звена экосистемы.
- Приводится аналитическая формула для определение параметров мелиоративного режима экосистем водосбора.
- Отмечается, что экосистемное водопользование (управление использованием водных ресурсов экосистемой), даёт возможность прогнозировать направление развития экосистем бассейна реки и управлять (минимизировать риски) подачей воды для орошения сельскохозяйственных полей в условиях изменения климата.
- Предлагаемый подход позволяет не только улучшить обеспечение сельского хозяйства водой, но и оптимизировать поглощение углерода экосистемой водосбора, включая сельскохозяйственные угодья.
- Апробация основных положений реализована в ряде публикаций (в частности <http://www.geodisaster.ru/uploads/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F%20%D0%A1%D1%8B%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B8%D0%BD2024/%D0%A1%D0%9F%D0%9725.pdf> , стр. 326-330).

-

# ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Процессы деградации экосистем, в связи с изменением климата, приводят к необходимости **проведения мелиорации экосистем**, для компенсации недостатка кислорода [1]. Известно, что основным процессом, в ходе которого возникает кислород на Земле, является фотосинтез. Часть кислорода образуется в океанах (50-75% от общей массы кислорода на Земле), а остальное, производят зелёные растения суши. На суше наиболее эффективно кислород вырабатывается на хорошо увлажненных территориях – болота, поймы, бассейны рек и пр.
- Считается, что до недавнего времени, 25% кислорода производилось зелеными растениями в бассейнах рек Амазонка и Конго. Однако, по прогнозам Института Водных Проблем РАН, объём стока этих рек в ближайшие десятилетия может существенно уменьшиться. Это приведёт к уменьшению фотосинтезирующей массы и снижению выработки кислорода (1 г. биомассы, созданной в процессе фотосинтеза, дает 1.07г. кислорода). Учитывая критичность содержания кислорода в воздухе, (в некоторых местах планеты менее 19% при норме 21%), необходимо принять меры по поддержанию **воспроизводства кислорода природными экосистемами водосборов рек.**

# ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ МЕЛИОРАЦИИ АВТОТРОФНОГО ЗВЕНА БАССЕЙНОВЫХ ЭКОСИСТЕМ

- Следует отметить, что сейчас многие водно-болотные системы находятся в подавленном состоянии. Поэтому представляется необходимым рассмотреть, *вопросы мелиорации автотрофного звена экосистем на водосборах*.
- Итак, в связи с повсеместным изменением экосистем и возможным недостатком кислорода в атмосфере Земли, целесообразно проводить "умное управление" - melio-razio.
- Для любого управления, а тем более управление такими сложными системами, какими являются экологические системы, **необходимы количественные инструменты**.
- Такие инструменты используются, в первую очередь, для *оценки уровня нарушенности системы и оценки возможного эффекта, при различных управляющих воздействиях* [2, 3].

# ОЦЕНКА УРОВНЯ НАРУШЕННОСТИ СИСТЕМЫ И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО ЭФФЕКТА, ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ [2, 3].

- Такие оценки, это количественные зависимости, показывающие изменения продуцирования экологического объекта в зависимости от факторов внешней среды. В данном случае, это растения на которые влияют *многочисленные частные условия среды*. Но есть и **интегрирующие факторы**.
- Для сельскохозяйственных растений таким фактором являются продуктивные **влагозапасы почвы**, так как именно они являются результатом взаимодействия всех элементов водного баланса [3].
- *Для экосистемы водосбора (бассейна реки), интегрирующим многочисленными факторы внешней среды на водосборе, является годовой сток реки*. Именно он включает в себя такие элементы как осадки, испарение, транспирацию, водобмен с грунтовыми водами и др.[1]
- **Экосистемная мелиорация** природных и природно-антропогенных объектов, в период изменения климата, поможет стабилизировать условия внешней среды и снизить отрицательные эффекты, связанные с борьбой за ресурсы, миграцией, снижением депонирования углерода и уменьшением выделения кислорода при фотосинтезе.
- **Экосистемная мелиорация** может стать новым научно-техническим направлением в комплексной мелиорации сельскохозяйственных земель и поможет становлению критериев комплексной эффективности. Это направления связано с ноосферным преобразованием (восстановлением) природы. Оно может помочь развитию научно-технического прогресса, в целом.

# МЕЛИОРАТИВНЫЙ РЕЖИМ

- Около 10 лет назад, академиком Айдаровым И.П. и профессором Головановым А.И. было введено новое понятие – **«мелиоративный режим»** [2].
- Они определили его следующим образом: *"Применительно к сельскохозяйственным землям мелиоративный режим - это совокупность требований к управляемым факторам почвообразования, роста растений и воздействий на окружающую среду, которые должна обеспечить система мелиоративных мероприятий для достижения поставленной цели"*. [1].
- Для водных экосистем (экосистемное водопользование), мелиоративный режим – это *совокупность требований к факторам среды, формирующим экологическую систему на водосборе (водобмен, почвообразование, рост растений и пр.)*. *Выполнение этих требований должна обеспечить система водохозяйственных мероприятий для достижения поставленной цели.*
- В простейшем случае, *интегрирующим фактором внешней среды, для экосистем водосбора, может быть объем стока*. Однако, сток в замыкающем створе реки, является как бы «избыточным» и, учитывая высотную неоднородность водосбора, показывает, для какой части автотрофов экосистем водосбора были созданы оптимальные условия (в рассматриваемом случае – условия для фотосинтеза).

# МЕЛИОРАТИВНЫЙ РЕЖИМ ЭКОСИСТЕМЫ ВОДОСБОРА.

При рассмотрении экосистемы или группы экосистем в целом, мелиоративный режим *это совокупность требований к факторам окружающей среды, при которых экосистема, может стабильно функционировать в рамках биосферы.*

- В целях упрощения количественного описания, функции мелиоративного режима, *целесообразно, многочисленные факторы внешней среды, интегрировать в один показатель.*
- Для оценки сокращения количества кислорода в атмосфере, при повышении глобальных температур, *в качестве интегрирующего показателя может быть выбрана средняя температура в атмосфере Земли.*
- Однако, для «локального участка» земной поверхности, каким является бассейн реки, в качестве *интегрального показателя функционирования экосистем, предлагается использовать годовой объем стока ( $V$  – км<sup>3</sup>/год).*

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ

относительной продуктивности автотрофного звена экосистемы водосбора от объема стока (1)

Учитывая, что сток реки (внутри водосбора) формируется под влиянием атмосферных осадков, суммарного испарения, притока подземных вод и прочих факторов, которые напрямую воздействуют на функционирование экосистем, *объем годового стока может служить интегральным показателем воздействия окружающей среды на экосистему водосбора. Связь относительной биомассы автотрофов с объемом стока, может быть записана следующим образом:*

$$S = \left( \frac{V}{V_{opt}} \right)^{\gamma V_{opt}} * \left( \frac{1-V}{1-V_{opt}} \right)^{\gamma(1-V_{opt})}; (1)$$

Где,  $S_i(V)$  - зависимость относительной биомассы автотрофного звена экосистемы от фактора внешней среды. Например, от водности реки в  $i$ -ый год. Для упрощения вида уравнения, значения пронормированы на величину стока, при котором функционирование наземной экосистемы невозможно (в первом приближении это может быть максимальный сток -  $V_{max}$  ).

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ

относительной продуктивности автотрофного звена экосистемы водосбора от объема стока (2)

- «Оптимальное» значение фактора  $V_{opt}$  - это величина фактора внешней среды, при максимальной «продуктивности» экосистемы. Для рассматриваемой задачи, это максимальный прирост зеленой биомассы. В первом приближении,  $V_{opt}$  равно полусумме ширины «квазиоптимального диапазона». Квазиоптимальный диапазон должен располагаться на таком уровне продуктивности, при котором, с одной стороны будет экономически выгодно получать данную «продукцию» (биомассу автотрофного звена), а с другой, технически возможно «удержать» регулируемый параметр в этом диапазоне.
- На основании многочисленных экспериментов и расчетов было принято целесообразным, выбирать **диапазон регулирования на уровне  $S=0,8$** . Теоретически это можно обосновать тем, что около этой точки максимизирует первая производная функции  $dS/dV$ . А это означает, что после этой точки, **незначительное отклонение (или ошибка в управлении) объемом стока, вне оптимального диапазона, приведет к значительным потерям продуктивности автотрофного звена.**

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРА АДАПТАЦИИ (САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ)

- В уравнении (1) есть еще один параметр -  $\gamma$ , который определяет ширину диапазона саморегулирования биологической системы.
- Следует отметить, что природные экологические системы имеют более широкий диапазон саморегулирования, но меньшую продуктивность. «Культурные» экологические системы, сформированные по принципу максимизации продуктивности (красоты, удобства и т.д.), имеют более узкий диапазон.
- Кроме того, в случае нестационарного мелиоративного режима (когда учитывается изменение мелиоративного режима во время жизненного цикла), оптимальное значение и ширина диапазона саморегулирования меняются в зависимости от времени жизни экосистемы.
- Решив уравнение (1) относительно  $\gamma$ , получим формулу для аналитического расчета:

$$\gamma = \ln S : [(V_{opt} * \ln (V : V_{opt} )) + (1 - V_{opt} ) * \ln ((1 - V) : (1 - V_{opt} ))] \quad (2)$$

- где,  $S$  – относительная продуктивность биологической системы (фотосинтезирующей части экосистемы водосбора);  $\gamma$  – коэффициент саморегулирования биологической системы;  $V' \div V''$  – границы оптимального диапазона ( $S=0,8$ );  $V_{opt}$  – оптимальная величина фактора (приблизённо  $V_{opt}=(V''+V')/2$ );

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРА АДАПТАЦИИ (САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ) (2)

- При ширине оптимального диапазона менее  $0.2V$ , малейшее «сжатие» его, приводит к существенному увеличению коэффициента саморегулирования  $\gamma$ . Это означает **«ужесточение» мелиоративного режима и необходимость более точного управления.** В этом смысле, экосистема менее устойчива, «более ранима».
- С другой стороны, для систем с широким диапазоном адаптации, мелиоративный режим, для поддержания природных экосистем, может быть достаточно «свободным», т.е. иметь широкий диапазон саморегулирования при высокой продуктивности.
- Это обстоятельство вселяет надежду, на возможность мелиоративной стабилизации состояния таких природных экосистем при изменении климата

## ВЫВОДЫ

1. Для минимизации возможных последствий наступления кислородной катастрофы, необходимо наладить планетарный мониторинг кислорода.
2. Создать «кислородные полигоны» (по аналогии с карбоновыми) на всех экосистемах, которые являются значительными источниками кислорода.
3. По спутниковым данным, определяющим объем фотосинтезирующей биомассы, оценивать баланс кислорода в атмосфере Земли и прогнозировать концентрации кислорода в разных точках планеты.
4. Проводить оценку необходимости мелиорации экосистем водосбора.
5. При мелиорации водосбора (в целях увеличения фотосинтеза экосистем), проводить регулярную оценку эффективности управления, путем наложение существующей кривой  $S(V)$  на измененную. Это позволит учесть изменения биомасс и определить величину увеличения (уменьшения) объемов кислорода в бассейне реки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. **КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ОХРАНА ПРИРОДЫ:** учебник / В. В. Шабанов , И. Г. Галямина , Э. С. Беглярова , Н. Ф. Юрченко; — Москва, 1994. — 318 с. — <URL:[http://elib.timacad.ru/dl/full/s3032023Shabanov\\_uch.pdf](http://elib.timacad.ru/dl/full/s3032023Shabanov_uch.pdf)>.
2. **МЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ:** Учебное пособие / А. И. Голованов, И. П. Айдаров, М. С. Григоров [и др.]. – 2-е издание, исправленное и дополненное. – Санкт-Петербург : Лань, 2015. – 832 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-1806-0. – EDN ZPOBWR.
3. **ШАБАНОВ В.В. БИОКЛИМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕЛИОРАЦИЙ.** – Гидрометеоиздат. Л., 1973. - 165 с. <http://elib.timacad.ru/dl/full/f33.pdf/view> (Дата обращения, 09.02.25)
- 4 **МЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ ПОДВЕРЖЕННЫХ ВЛИЯНИЮ ЭНДОГЕННОГО ВОДОРОДА:** Библиографический сборник / Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева (Москва); — Москва, 2024. — 73 с.: ил., табл. — Коллекция: Библ. указатели. — Режим доступа: [http://elib.timacad.ru/dl/full/s10062024Vod\\_degaz.pdf](http://elib.timacad.ru/dl/full/s10062024Vod_degaz.pdf)

# Спасибо за внимание

дополнительные вопросы и консультации по адресу

[515vvsh@gmail.com](mailto:515vvsh@gmail.com)

Шабанов Виталий Владимирович