

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

# **Мелиорация земель, дегазированных водородом.**

**Шабанов В.В<sup>1</sup> Бондарик И.Г<sup>2</sup> Гулюк Г.Г<sup>3</sup>.**

1 - Проблемная лаборатория РГАУ-МСХА. .  
<https://www.timacad.ru/about/struktura-universiteta/nauchnye-podrazdeleniia/problemnaia-laboratoriia>

2– Отдел экосистемного водопользования ВНИИГиМ;

3 - Отдел информационного обеспечения ВНИИГиМ;

Москва 2025

# Введение

- Российскими учеными (МГУ – Ларин, Сывороткин и др), был открыт феномен истечения эндогенного водорода из недр Земли не только в зонах разлома земной коры в океанах, но и на суше (*диффузное истечение глубинного водорода*). Над этими территориями могут образовываться «озоновые дыры» и усиливаться ультрафиолетовая радиация (УФР).
- В процессе взаимодействия глубинного водорода с органическим веществом почвы, могут происходить изменения в составе гумуса, рН почвы (МГУ – Суханова, Кирюшин) и, **возможно, изменение почвенного биотического сообщества**. (Ссылки на эти и другие работы, размещены в специально выпущенном Библиографическом **сборнике « Мелиорация земель подверженных влиянию эндогенного водорода»**) - [http://elib.timacad.ru/dl/full/s10062024Vod\\_degaz.pdf/download/s10062024Vod\\_degaz.pdf](http://elib.timacad.ru/dl/full/s10062024Vod_degaz.pdf/download/s10062024Vod_degaz.pdf)
- В результате химико-биологического взаимодействия водорода с почвой, может *изменяться структура порового пространства* почвы и как следствие, могут меняться водно-физические свойства почвы. Это, например, может отрицательно сказаться на результатах орошения сельскохозяйственных культур.
- Для повышения внимания к процессам сохранения и формирования порового пространства было введено понятие – «ПОЧВЕННЫЕ ВОДОХРАНИЛИЩА». Соответствующая статья в журнале «Мелиорация и водное хозяйство» №1, 2025, расположена по ссылке - [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_82407798\\_84235665.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_82407798_84235665.pdf)
- Изучение процессов переформирования порового пространства (объемов почвенных водохранилищ) при воздействии водорода, необходимо проводить и на микроскопическом уровне. В связи с этим, Проблемная лаборатория и институт Термоядерных исследований Росатома, опробовали использование *рентгеновского микроскопа* для анализа микроскопических изменений биологической структуры порового пространства. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49304945>

## Введение (продолжение)

- Этот эксперимент показал, что рентгеновский микроскоп позволяет дифференцировать объекты от 20 микрон (размер зоны ризосферы 2-5 мм) до 1 - сантиметра. При этом мягкое рентгеновское излучение не «убивает» растение и почвенную биоту. Можно полагать, что реакцию на все воздействия (удобрения, ядохимикаты и пр.) можно наблюдать *in situ*.
- В случае диффузного истечения водорода, результаты повреждения почв могут быть не так заметны, как при выходе водорода из разломов, но диффузная дегазация может изменить рельеф на 10-20 см за счёт «схлопывания» свободной пористости почвы и это существенным образом повлияет ее проницаемость и как следствие, на плодородие почвы.
- Поэтому, основным является создание оптимальных условий для жизни и развития почвенной биоты (особенно грибов, которые формируют «каркас» порового пространства). Однако, почвенная биота без растений, «работает» менее интенсивно, а требования к условиям внешней среды, в данном случае (рН), для растений и почвенной биоты могут значительно отличаться.
- *Функции мелиоративной системы дегазированных водородом почв, в совмещении двух процессов: оптимизации условий для почвенной биоты, исходных (неповреждённых) почв и в создании оптимальных условий для растений – фитомелиорантов.*
- **Здесь возникает задача мелиорации двух групп биологических объектов с различными траекториями управления, которое должно привести к восстановлению структуры почвы и накоплению гумуса.**
- Оценка эффективности этих мероприятий может быть проведена только при наличии количественной зависимости, относительной продуктивности биологических объектов от мелиорируемого фактора внешней среды. В данном случае от кислотности почв.
- Такая, достаточно универсальная, зависимость продуктивности биотических систем от факторов внешней среды, получена (<http://elib.timacad.ru/dl/full/f42.pdf/info>)

## Расчет удельного потока истечения эндогенного водорода (л/м<sup>2</sup> в сут)

- «...*поток истечения водорода за год — от 300 до 500 млрд тонн*». Николай Ларин, представитель Института физики Земли РАН, на форуме **ИА REGNUM**, 17 марта 2016г.
- <https://regnum.ru/news/2099863>
- **Данные для расчета**
- Площадь поверхности Земли составляет **510 миллионов квадратных километров**.
- По этому показателю наша планета является пятой в Солнечной системе.
- Из них суша занимает только 149 миллионов км<sup>2</sup> а водные объекты остальную часть, которая занимает почти 361 миллион км<sup>2</sup>.
- Таким образом, на сушу отведено не больше 1/3 части Земной поверхности, в то время как вода занимает больше 2/3 ее частей.
- $149 / 510 * 100 \% = 29,2 \%$ . (Занимает суша).
- $361 / 510 * 100 \% = 70,8 \%$ . (Занимает вода). <https://uchi.ru/otvety/questions/ploschad-poverhnosti-zemli>
- Плотность водорода (при н. у.) Плотность (при н. у.) 0,0000899 (при 273К (0 °C)) г/см<sup>3</sup>
- **Удельная дегазация** –  $(400 * 10^9 \text{ тонн}) : (510 * 10^6 \text{ кв. км.}) = 0,78 * 10^3 \text{ тонн/кв.км} = 780 \text{ тонн/кв.км в год} = 780\ 000 \text{ кг / кв.км в год} = 2136 \text{ кг/кв.км в сутки} = \mathbf{2,136 \text{ г / кв.м.в сутки}}$ .
- **Занимаемый объем** =  $2,136 / 0,0000899 = 23760 \text{ см}^3 = 23.76 \text{ дм}^3 = 0,024 \text{ м}^3/\text{кв.м в сутки}$ . (по объему около 2-х ведер)
- Однако, эта величина может оказать существенное влияние на жизнь биотических сообществ почв, а потом и всей Земли. В некоторых местах могут «ухудшиться» некоторые свойства почв, поэтому нужно разрабатывать рациональные улучшения, т.е мелиорировать территории диффузного выхода эндогенного водорода.

## Основные факторы (режимы) внешней среды, влияющие на продуктивность биологических объектов и систем

	Режимы внешней среды	Влияние эндогенной дегазации водорода (предположительно)
1	Водный режим для растений и почвенной биоты	Изменение структуры порового пространства (уменьшение объема «почвенного водохранилища»); отсутствие доступной влаги (высыхание) по дегазированному контуру и переувлажнение в центре «провала» . Образование воды при соединении водорода с кислородом и возможность переувлажнения..
2	Тепловой режим для растений и почвенной биоты	Изменение (увеличение) теплопроводности при разрушении пор, увеличение потока УФР, при образовании «озоновый дыры», возможное увеличение температуры воздуха и почвы (неоптимальные условия для почвенной биоты).
3	Газовый(е) режим(ы) для человека, растений и почвенной биоты	<b>Уменьшение концентрации кислорода</b> , образованного при фотосинтезе. «Выдавливание» кислорода и других необходимых газов при уничтожении порового пространства (почвенных водохранилищ). Генерация газов при взаимодействии водорода с другими веществами.

## Продолжение таблицы

	Режимы внешней среды	Влияние эндогенной дегазации водорода (предположительно)
4	Пищевой (химический) режим для растений и почвенной биоты	Изменение рН почвы. Изменение (ухудшение) усвояемости питательных веществ. Создание неоптимальных условий почвенным организмам (грибы, бактерии, беспозвоночные и др.)
5	Радиационный режим для растений и почвенной биоты в разных зонах спектра	В зонах проецирования «озоновых дыр» изменение спектра солнечного излучения влияющего на фотосинтез. При увеличении УФР создание «стерильных» условий (гибель полезных, защищающих микроорганизмов) на поверхности почвы и растений.

В связи с этим целесообразно использовать весь арсенал, имеющихся у мелиорации средств (табл.1), для стабилизации фотосинтезирующей биомассы.

Таблица 1. Развитие мелиорации в условиях изменения климата

Вид мелиорации	Объекты и направления управления	Эффективность (экономическая, социальная, экологическая, климатическая – экосистемные услуги).	Необходимые действия до 2025
<b>7. Мелиорация водосбора (2023-2050)</b>	Экосистемы ландшафтных катен водосборов, экологические сети частично или полностью, расположенные на водосборе.	Сохранение и восстановление экологических сетей, поддержание экосистем высокого ранга. Развитие экосистемного водопользования на водосборе.	Создание экспертной системы по обоснованию необходимости и эффективности комплексного управления наземными и водными и экосистемами водосборов в условиях изменения климата
<b>6. Экосистемная мелиорация (2023 – 2050)</b>	С-х растения + почвенная биота + природные экосистемы, деградирующие при изменении климата	Сохранение существующих экосистем и переход на управляемую сукцессию, в случае катастрофических сценариев	Разработка концепции действий для различных сценариев изменения климата. (Концепция развития экосистемной мелиорации)
<b>5. Лесомелиорация (2023-2030)</b>	Деревья и кустарники на сельскохозяйственных землях	Увеличение интенсивности депонирования углерода и «производства» кислорода	Создание углеродных полигонов на сельскохозяйственных землях, включая мелиорируемые.
<b>4. Точная мелиорация (2023-2030)</b>	С-х растения + создание оптимальных условий для почвенной биоты	Получение экологически чистой сельскохозяйственной продукции, сохранение и увеличение плодородия почв	Разработка методов и технологий для систем точного земледелия
<b>3. Комплексная мелиорация (2023-2027)</b>	С-х растения в условиях неоптимального водного, солевого и теплового режима	Получение высоких урожаев с-х растений.	Реконструкция и перевод гидроиелиоративных систем в системы точного мелиоративного регулирования
<b>2. Фитомелиорация (2023 – 2028)</b>	С-х растения + восстановление почвенной биоты	Получение с-х продукции и начало восстановления почвенной биоты	Подбор растений с мелиоративным режимом, способствующим более интенсивному восстановлению почвенной биоты

**Цель мелиорации почв**, повреждённых диффузной водородной дегазацией, заключается в создании оптимальных условий для почвенной биоты исходных (неповреждённых) почв, и созданию оптимальных условий для растений – фитомелиорантов.

**Методы мелиорации** - глубокое рыхление (аэрация почвенного слоя), известкование (изменение рН), фитомелиорация (создание запасов органического вещества в почве).

В случае диффузной (рассеянной) дегазации, результаты повреждения почв могут быть не так заметны, как при концентрированных выходах водорода (глубинных провалах), но диффузная дегазация может изменить рельеф на 10-20 см за счёт «схлопывания» свободной пористости почвы.

Поэтому основным направлением, является **создание оптимальных условий для жизни и развития почвенной биоты, в целях восстановления структуры (архитектоники) почвы и в конечном счете - плодородия.**

Однако, почвенная биота без растений, «работает» менее интенсивно, а требования к условиям внешней среды, в данном случае (рН), для растений и почвенной биоты могут значительно отличаться.

Здесь возникает задача мелиорации (в дословном переводе - управления по уму) двух групп биологических объектов - растений и почвенной биоты.

Эти объекты могут иметь различные траектории управления, но оптимальное управление, должно привести к восстановлению структуры почвы и накоплению гумуса.

**Если определение плодородия сформулировать как, «свойство почвы создавать оптимальные условия для растений и почвенной биоты», то эффективность мелиорации в данном случае, может измеряться приростом биомассы (углерода) в почвенном слое.**

Для управления системой: растение - почвенная биота необходимо количественное описание (уравнение) **мелиоративного режима** (функция эффективности).

**Функция эффективности (зависимость относительной биомассы  $S$  от фактора внешней среды  $\varphi$ ) может быть записана в виде:**

$$S = \left( \frac{\varphi}{\varphi_{opt}} \right)^{\gamma \varphi_{opt}} \left( \frac{\varphi_{max} - \varphi}{\varphi_{max} - \varphi_{opt}} \right)^{\gamma (\varphi_{max} - \varphi_{opt})} \quad (1)$$

Где,

$\varphi_{opt}$  - оптимальное значение фактора внешней среды (нормировано от 0 до 1)

$\varphi_{max}$  - максимальное значение фактора внешней среды, при котором  $S=0$

$\gamma$  - коэффициент саморегулирования биологического объекта, параметр определяющий ширину зоны адаптации биологического объекта к условиям внешней среды ( $\varphi' \div \varphi''$ ).

В рассматриваемом варианте  $\varphi \leftrightarrow \text{pH}$

# Оптимальные значения кислотности (ширина диапазона саморегулирования $\Delta$ ) для различных селескохозяйственных культур, которые могут использоваться для фитомелиорации территорий, подверженных водородной дегазации

культура	$\Delta pH$	$pH_{opt}/\gamma$											
<ul style="list-style-type: none"> <li>•1.арбуза,</li> <li>•2. дыни,</li> <li>•3. малины,</li> <li>•4 ежевики,</li> <li>•5.томата,</li> <li>•6.картофеля,</li> <li>•7.редиса,</li> <li>•8.кукурузы.</li> </ul>	5,1 до 5,5	5,3/260	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <math display="block">S = \left( \frac{F_i}{F_{opt}} \right)^{\gamma F_{opt}} \cdot \left( \frac{1 - F_i}{1 - F_{opt}} \right)^{\gamma(1 - F_{opt})}</math> <p>Задайте значения:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Si</td><td>0,8</td></tr> <tr><td>Fopt</td><td>0,53</td></tr> <tr><td>γ</td><td>260</td></tr> </table> <p>Результат расчета:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Fi'</td><td>0,51</td></tr> <tr><td>Fi''</td><td>0,55</td></tr> </table> </div> <div style="flex: 2;"> </div> </div>	Si	0,8	Fopt	0,53	γ	260	Fi'	0,51	Fi''	0,55
Si	0,8												
Fopt	0,53												
γ	260												
Fi'	0,51												
Fi''	0,55												

культура	$\Delta pH$	$pH_{opt}/\gamma$	
----------	-------------	-------------------	--

- 1. семечковые
- 2. смородина черная,
- 3. жимолость,
- 4. земляника садовая,
- 5. морковь,
- 6. цветная капуста,
- 7. кольраби,
- 8. салат,
- 9. огурец

5,6-6,0

5,8 / 260

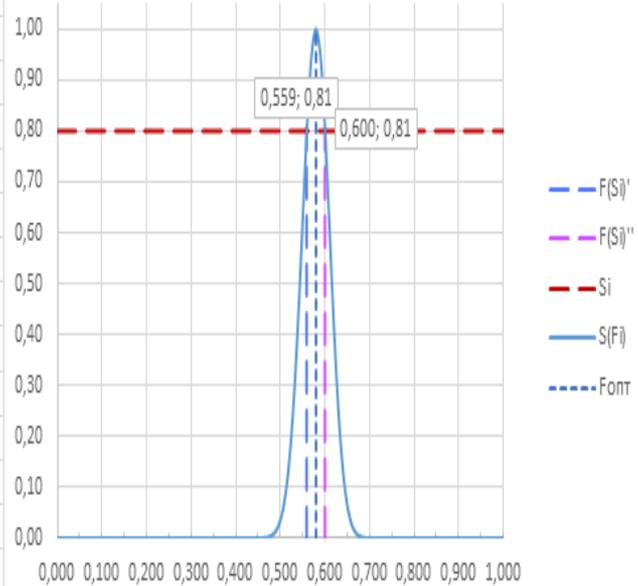
$$S = \left(\frac{F_i}{F_{opt}}\right)^{\gamma F_{opt}} \cdot \left(\frac{1-F_i}{1-F_{opt}}\right)^{\gamma(1-F_{opt})}$$

Задайте значения:

$S_i$	0,8
$F_{opt}$	0,58
$\gamma$	260

Результат расчета:

$F_i'$	0,56
$F_i''$	0,6



## Культура

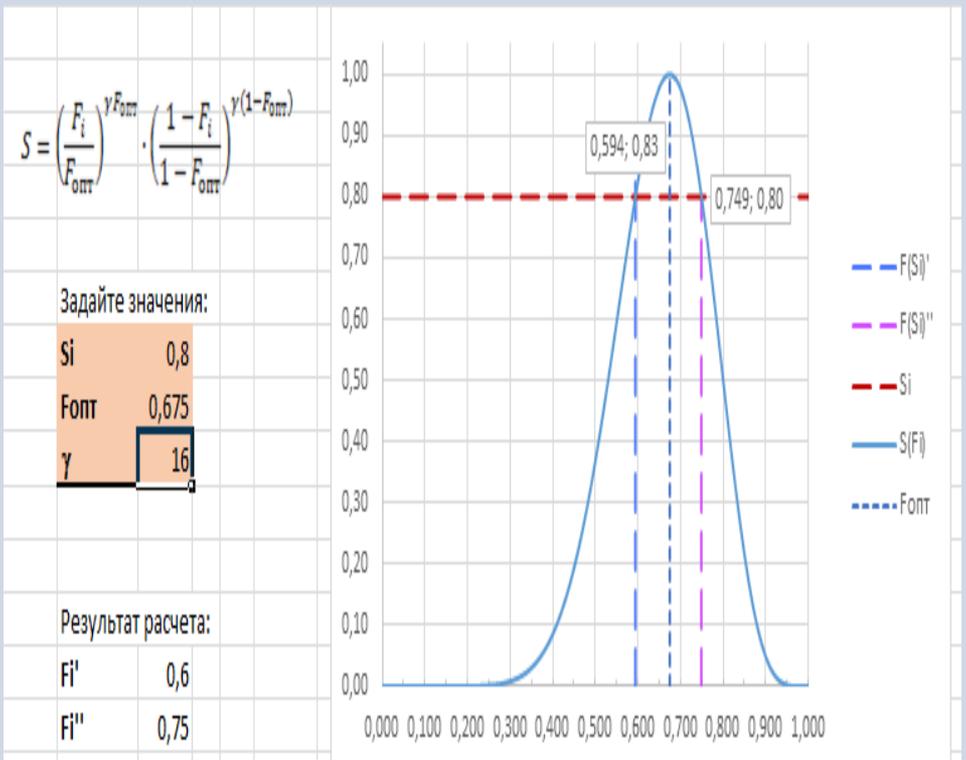
$\Delta pH$

$pH_{opt}/\gamma$

- 1. смородина красная,
- 2. косточковые культуры,
- 3. облепиха и
- 4. крыжовник.
- 5. болгарский перец,
- 6. столовая свекла,
- 7. капуста кочанная,
- 8. тыквенные
- 9. баклажаны,
- 10. чеснок,
- 11. лук,
- 12. бобовые культуры,
- 13. корневой сельдерей.

6,0-7,5

6,75/16



Анализ приведённых кривых показывает, что в случае управления химическим режимом почв в районах водородной дегазации, можно столкнуться со следующими трудностями:

1. При подборе растений для фитомелиорации следует учитывать, что количество растений в группах различно – растений произрастающих на кислых почвах – 8, на нейтральных 9, на щелочных 13. Это сужает выбор фитомелиорантов для территорий с различными климатическими условиями;
2. Кривые продуктивности для 1 и 2 группы имеют узкий диапазон саморегулирования 0,4 ед. рН ( $\gamma=260$ ), поэтому при использовании этих групп растений для фитомелиорации, необходимо очень точное мелиоративное регулирование.
3. Растения «щелочной» группы имеют более широкий диапазон саморегулирования ( $\gamma=16$ ), поэтому системы более устойчивы, но и в этом случае, диапазон регулирования составляет всего лишь 1,5 ед. рН. Это даёт возможность использовать современные мелиоративные технологии и технику, но только в рамках систем точного земледелия.

Аналогичные кривые могут быть построены не только для зависимости конечной продуктивности от фактора внешней среды, но и для процессов протекающих внутри биологических объектов. Например, зависимость «усвоения» питательных веществ (NPK), от величины рН.

## **Необходимость точной мелиорации на эндогенно дегазированных землях.**

Учитывая:

1. Узкий диапазон, для регулирования рН, на дегазированных землях;
2. Логнормальное распределения коэффициента фильтрации (проницаемости) по полю;
3. Существенное варьирование осадков в пространстве, в зависимости от конфигурации поля и наличия на границах его лесополос, а так же наличие «тепловых столбов» и пр. Осадки и влажность почвы по полю, могут отличаться на 30-40%, что существенно меняет расположение и интенсивность источников водорода в пространстве и во времени

Все это существенно влияет на процессы изменения рН.

Поэтому необходимо **ТОЧНОЕ МЕЛИОРАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ**, которое можно осуществить с помощью специальных дронов или мелиоративной техникой с дифференцированной подачей воды или препаратов регулирующих факторы внешней среды ( влажность, рН и др) в каждой точке.

# Мелиоративные мероприятия на землях дегазированных эндогенным водородом

Номера	Название мероприятия	Технология	Примечание
1	<b>Фитомелиорация</b>	Подбор растений, способных выжить на «разрушенных почвах». Восстановление микробиоты, которая «создает» новую структуру почвы (грибы, бактерии, водоросли, беспозвоночные)	Используется на нарушенных почвах. Растения подбираются на основе функций зависимости продуктивности от факторов внешней среды. Элементы почвенной экосистемы могут подбираться путем внесения микробиологических удобрений.
2	<b>Удаление (разрушение) подпахотного переуплотненного слоя</b>	Безотвальная глубокая вспашка	Увеличивает проводимость и аэрацию «корнеобитаемого слоя» (см доп. Материалы 1,2)
3	<b>Глубокое рыхление</b>	Глубокое мелиоративное рыхление 0,3-0,6 м (чизелевание)	Сущность чизелевания заключается в резании почвы посредством «долота» без выноса почвенной «стружки» на дневную поверхность. Уменьшает сопротивление для выхода эндогенных газов

## Продолжение таблицы

<p><b>Минимальная технология выращивания растений</b></p>	<p>Предполагает замену вспашки с оборотом пласта, на безотвальное <b>рыхление</b> почвы.</p>	<p>Переход на технологию минимальной обработки почвы, включает измельчение пожнивных остатков равномерно распределяемых по полю. В результате формируется почвозащитное покрытие, которое противостоит ветровой и водной эрозии, обеспечивает сохранение влаги, препятствует произрастанию сорной растительности, способствует активизации почвенной микрофлоры, является базисом для возобновления плодородного слоя и повышения урожайности культур, оптимизируя газовый режим.</p>
<p><b>Нулевая технология выращивания растений</b></p>	<p>Характеризуется отказом от обработки почвы. Структура и газопроницаемость почвы обусловлена «оптимальной работой» почвенной экосистемы</p>	<p>Оптимальные свойства почвы, в нулевой технологии, поддерживаются за счёт комплексного мелиоративного управления факторами внешней среды для развития корневых систем выращиваемых культур и агротехнических мероприятий, способствующих глубокому проникновению «зоны жизни» и активной деятельности представителей почвенного биологического сообщества: грибы, бактерии, актиномицеты, водоросли, беспозвоночные (черви и др.), позвоночные (кроты и др.) .</p>

# Спасибо за внимание

дополнительные вопросы и консультации по адресу

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

Шабанов Виталий Владимирович