



«ПРОБЛЕМНАЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ПО  
РАЗРАБОТКЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ СОВМЕСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ВОДНЫМ, СОЛЕВЫМ И ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМАМИ МЕЛИОРИРУЕМЫХ  
ЗЕМЕЛЬ»,  
РГАУ - МСХА.

## УРАВНЕНИЕ ФЕНОТИПА -- ЭКОТИПА

Шабанов Виталий Владимирович д.т.н. *проф.*

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

XXXV Всероссийская с международным участием междисциплинарная конференция

геологического, географического факультетов и Музея земледения

ДОКЛАД НА КОНФЕРЕНЦИИ в

МГУ имени М.В. Ломоносова

«Система планета Земля»

3-6 февраля 2026 г. ГЗ МГУ. Ауд. 415

# ВВЕДЕНИЕ

- Изменение климата и необходимость, в связи с этим, управления биогеоценозами, требует количественной оценки и высокой точности действий, т.к. управление необходимо проводить не только на локальном, но и на глобальном уровне.
- С одной стороны это сулит высокую эффективность, а с другой вызывает чрезвычайные опасения, в случае ошибок управления.
- Чтобы не допустить возможных ошибок, управление должно проводиться на основании *количественных целевых функций, в частности функции, показывающей зависимость продуктивности ("здоровья") биологического объекта от изменяющихся условий внешней среды.*
- В разных сферах деятельности эти функции называются по-разному. Так, в мелиорации это **"уравнения требования растений"** [Шабанов, 1973] или **уравнения мелиоративного режима** [Голованов, 2015].
- В биологических науках это может трактоваться как **уравнение фенотипа**, а в науках о биосфере, как **уравнение экотипа**.
- Если считать [Большая Российская Энциклопедия, 2007], что **фенотип это реализация генотипического потенциала одного вида** в определенных условиях «среды происхождения», а **экотип это совокупность особей** одного вида, **связанных с определённым типом местообитаний** (условиями внешней среды) и обладающих генетически закреплёнными свойствами, то **признаки, определяющие характер экотипа, сохраняются при попадании организмов в иные экологические условия (т.е. требования к условиям внешней среды остаются неизменными)**
- Среди экотипов различают **климати́пы**, возникающие под влиянием климатических факторов, **эдафотипы** – под влиянием почвенных условий, и **ценотипы**, экотипы различных мест обитания – луг, лес и т. д.
- **На основании изложенного, можно предположить, что «взаимоотношения» между живым организмом и абиотическими условиями окружающей среды основаны на сходных механизмах и могут быть описаны сходными, по структуре, математическими моделями**

# ФЕНОТИП

- Понятие фенотипа было введено Вильгельмом Иогансеном в 1909 году, для разграничения понятий "наследственной программы" (генотипа) и ее реализации в конкретных условиях "места происхождения" данного биологического объекта.
- Количественное описание проявления биологических (генетических) признаков в различных условиях внешней среды предпринимались, и сводились к динамическим моделям (зависимость признака формы или продуктивности от времени), в виде "экспоненциальных« форм. Такой подход был обусловлен **очевидной предпосылкой - если фенотип формируется под влиянием "дифференциального закона распределения" какого либо фактора внешней среды, то он должен иметь сходную геометрическую форму.** В данном случае, куполо или колоколообразную. В ряде случаев использовалась модифицированная кривая нормально распределения Гаусса.
- Однако, условия среды, под влиянием которых формируется фенотип, во многих случаях ассиметричны и не подчиняются нормальному закону распределения. *В связи с этим появляется необходимость найти фундаментальные основания для построения достаточно адекватной и универсальной модели фенотипа.*

# Основные положения

## Определения

В классической генетике и экологии, фенотип (P) может быть представлен **функцией вида:  $P=f(G; E; G \times E)$ ,**

- где: P — фенотип (наблюдаемые признаки живого организма: здоровье, продуктивность, биомасса, урожайность и др.);
- G — генотип (наследственная основа, совокупность генов);
- E — среда (внешние условия: состав воздуха, температура, влажность, свет, плодородие почвы и т. д.);
- $G \times E$  — взаимодействие генотипа и среды (как генотип реагирует на конкретные условия).

## Проработанность вопроса

Вопросы влияния генетической структуры на фенотип  $P=f(G)$ , достаточно хорошо проработаны. Но, в основном, при неизменных, зачатую оптимальных ( $E=E_{opt}$ ), условиях внешней среды.

- Стохастические закономерности изменения внешней среды в пространстве и во времени  $E=f(x, y, t)$ , также достаточно хорошо проработано.
- Взаимодействие генотипа и среды  $G \times E$  (как генотип реагирует на изменение конкретных условий), на наш взгляд, проработаны недостаточно.

## **Требования к форме математического описания процессов *взаимодействия генетического аппарата живого организма с условиями внешней среды***

- **Неоднозначность (неинъективность)** – одному значению функции может соответствовать два значения аргумента (это фундаментальное свойство живых систем).
- **Неоднозначность обеспечивает:** *избыточность и надёжность; многовариантность* достижения одного результата; *адаптивность* к изменениям среды и повреждениям.
- Для выполнения этого условия форма уравнения должна быть **мультипликативна**
- Это «обеспечивает» *открытость живой системы* и «компромисс» взаимодействий «хаоса и порядка».
- **Форма представления** – части должны быть взаимодополняющими системами --  $\{X \text{ и } (1-X)\}$ .
- Они должны не *только мультипликативно взаимодействовать, но и имеют форму степенных зависимостей*, в показатель степени которых входят **координаты точки оптимума** данного биологического объекта ( **$X_{opt}$** ), но и параметр определяющий «**ширину оптимального диапазона**» - **g**.
- Такое представление **функции взаимодействия генетического потенциала и реальных условий окружающей среды**, дает возможность очень *гибкого представления вида итоговых функций*.
- Для выполнения этих условий значения аргумента *должны быть нормированы на ширину «диапазона толерантности»* данного фенотипа.

# Предпосылки для вывода уравнения фенотипа

## Основные предпосылки

- *Взаимодействие процессов созидания и распада* в биологическом объекте
- **Виды биологических процессов:**
- - степенная зависимость *увеличения «скорости» биохимической реакции (синтеза)* при увеличении фактора внешней среды —

$$y \uparrow = (x/x_{opt})^g$$

- - степенная зависимость **увеличения «скорости» распада сложных биологических структур** при увеличении концентрации или энергии (температуры) фактора внешней среды.

$$y \downarrow = ((1-x)/1-x_{opt})^g$$

- **Вид уравнения** - мультипликативный —  $Y = y \uparrow * y \downarrow$

## УРАВНЕНИЕ ФЕНОТИПА

$$\bar{Y} = \left[ \frac{x}{x_{opt}} \right]^{g(x_{opt})} \times \left[ \frac{1-x}{1-x_{opt}} \right]^{g(1-x_{opt})}$$

# Обозначения

- $Y$  – фенотипический признак живой структуры (*относительная продуктивность, здоровье, биомасса, урожайность* и пр.)
- $x$  – фактор внешней среды (потенциал), влияющий на фенотипический признак (*интенсивность солнечной радиации, концентрация кислорода в воздухе, влажность почвы, содержание питательных веществ в почве, кислотность почв* и пр.)
- $x_{opt}$  – *оптимальное значение фактора в данный момент роста и развития* организма (зависит от места происхождения и генетического потенциала организма).
- $g$  – *коэффициент саморегулирования биологической системы* (организма).  
Зависит от генетического потенциала и конкретных условий места обитания в месте происхождения.
- **В этом уравнение все значения аргументов и функции нормируются.**  
*Минимальное значение фактора равно нулю* (от каждого значения диапазона толерантности это значение вычитается, а потом делится на максимальное значение границы толерантности).
  - Фенотипический признак, также нормируется на максимальную величину  $Y(x_{opt})$ . Изменяется от 0 до 1.
  - Таким образом, уравнение получается безразмерным, с осями от 0 до 1.  
**Это во многом облегчает подбор параметров уравнения -  $x_{opt}$  и  $g$ .**

## Пример построения уравнения фенотипа человека, относительно его реакции на содержание кислорода в воздухе

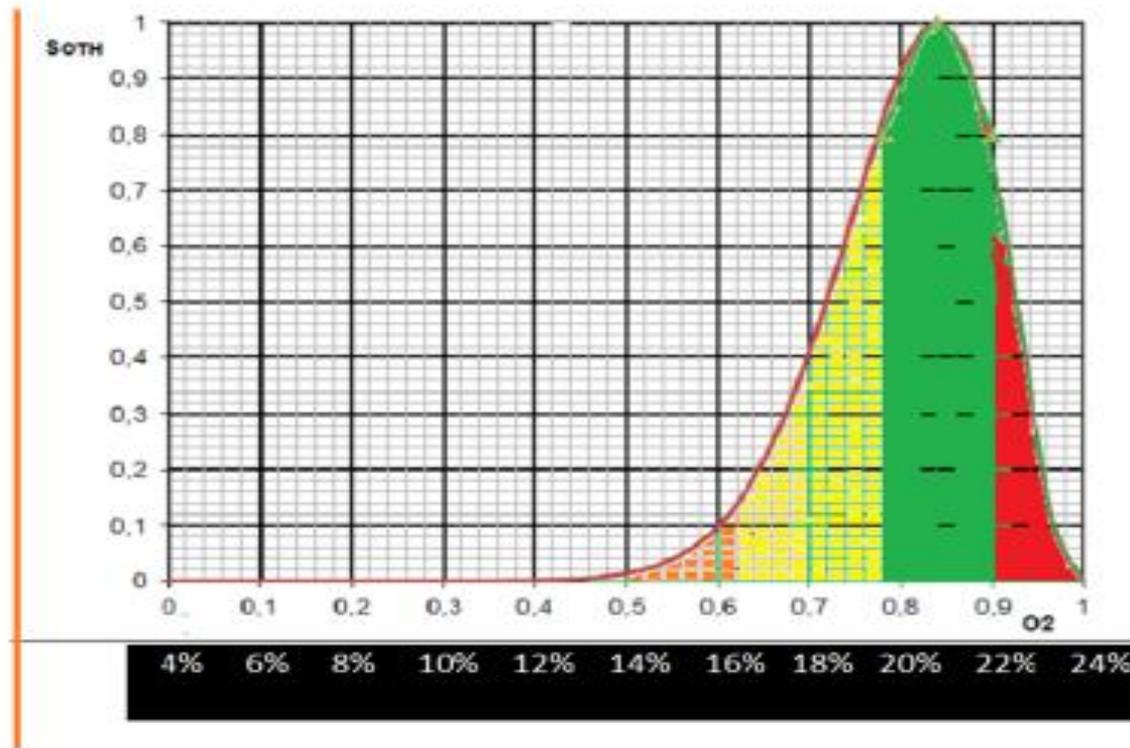
### ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА В ВОЗДУХЕ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА [ ]

Абсолютные величины	Относительные величины	Влияние на здоровье	
Минимальное значение <b>4%</b>	Минимальное значение – 0	Смерть	
Максимальное значение - <b>24%</b>	Максимальное значение - 1	Смерть	
Оптимальное значение <b>20,9%</b>	Оптимальное значение 0,704	Здоровье	
<b>&gt; 23,5%</b>	0,98	Перенасыщение кислородом, высокая опасность воспламенения	
<b>19,5%</b>	0,81	Минимально допустимый уровень кислорода (начало оптимального диапазона)	
<b>18,72</b>	0.78	<i>Начало оптимального диапазона на графике</i>	
<b>21,84%</b>	0,91	Максимально допустимый уровень кислорода (конец оптимального диапазона)	

## ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА В ВОЗДУХЕ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА (продолжение )

От 15% до 19%	От 0,625 до 0,79	Снижение способности к усердной работе; возможно нарушение координации и проявление болезненных симптомов у людей, имеющих проблемы с сердцем, легкими или кровообращением
От 10 до 12%	От 0,42 до 0,5	Дыхание становится чаще и глубже, плохая ориентация, посинение губ
От 8 до 10%	От 0,33 до 0,42	После 4–5 минут еще есть шансы на восстановление. Через 6 минут наступает смерть в половине случаев. Через 8 минут смерть наступает в 100% случаев
От 6 до 8%	От 0,25 до 0,33	После 4–5 минут еще есть шансы на восстановление. Через 6 минут наступает смерть в половине случаев. Через 8 минут смерть наступает в 100% случаев
От 4 до 6%	От 0,17 до 0,25	Впадение в кому через 40 секунд, конвульсии, остановка дыхания, смерть

График кривой фенотипа (зависимости уровня «здоровья») человека (ордината) от концентрации кислорода в воздухе (абсцисса).



## Обсуждение графика

- Оптимальный диапазон на графике 0,78 – 0,91 (18,72% ---21,84). Оптимальное значение = 20,28%.
- **Изменение концентрации на 1,56% приводит к изменению «уровня здоровья» на 20%. Это временное потеря трудоспособности.**
- Можно предположить, что организм здорового человека может адаптироваться к изменению концентрации не более чем на  $(1.56\% : 20) = 0,078\%$  концентрации кислорода.
- Поэтому (в первом приближении), точность измерения кислорода в атмосфере **должна быть не менее +/- 0,1 % концентрации кислорода.**

# Выводы

- 1. Учитывая, что фенотип — это совокупность внешних и внутренних признаков организма, сформировавшихся в результате **реализации генетической информации** (какие аллели присутствуют), а так же
  - **воздействия среды** (как эти аллели «проявляются» в конкретных условиях), **фенотип** — это признак (относительная продуктивность) отдельной особи, складывающийся из генотипа + среда. Он может быть непостоянным.
  - Представляется, что предлагаемая форма уравнение фенотипа может достаточно «гибко» описать результат взаимодействия генетического потенциала вида с окружающей средой.
2. **Экотип** — это генетически обусловленный «портрет» популяции, где отбор закрепляет набор адаптивных фенотипов, наиболее выгодных в данной среде. Предлагаемая форма уравнения, когда диапазон «саморегулирования» становится шире (уменьшение коэффициента  $g$ ), позволяет предположить, что при определенных показателях, **уравнение фенотипа может переходить в уравнение экотипа**

# Список литературы

1. МЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ: Учебник / ред. : А. И. Голованов , Н. М. Щербакова; рец.: Е. В. Кузнецов, А.В. Шуравилин; Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева (Москва). — Электрон. текстовые дан. — Москва, 2011. — 824 с. — Коллекция: Учебная и учебно-методическая литература. — Свободный доступ из сети Интернет (чтение, печать, копирование). — Режим доступа : [http://elib.timacad.ru/dl/full/s09102024MZ\\_Shabanov.pdf](http://elib.timacad.ru/dl/full/s09102024MZ_Shabanov.pdf). - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации. — <URL:[http://elib.timacad.ru/dl/full/s09102024MZ\\_Shabanov.pdf](http://elib.timacad.ru/dl/full/s09102024MZ_Shabanov.pdf)>.
2. Биоклиматическое обоснование мелиораций. В. В. Шабанов. — Электрон. текстовые дан. — Ленинград: Гидрометеиздат, 1973. — 169 с. — Коллекция: Монографии. — Режим доступа : <http://elib.timacad.ru/dl/full/f33.pdf>. - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации. — <<https://elib.timacad.ru/dl/full/f33.pdf/view>>.
3. Влагообеспеченность яровой пшеницы и ее расчет: монография / В. В. Шабанов. — Электрон. текстовые дан. — Ленинград: Гидрометеиздат, 1981. — 145 с. — Коллекция: Монографии. — Режим доступа : <http://elib.timacad.ru/dl/full/f42.pdf>. - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации. — <URL:<http://elib.timacad.ru/dl/full/f42.pdf>>.
4. УДК 631.6 DOI: 10.37738/VNIIGIM.2024.46.25.014 ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ УРАВНЕНИЯ МЕЛИОРАТИВНОГО РЕЖИМА В.В. Шабанов, с 83-89/  
[https://www.vniigim.ru/download/library/2024/SBORNIK\\_100\\_optimized.pdf](https://www.vniigim.ru/download/library/2024/SBORNIK_100_optimized.pdf)
5. Таблица оптимальной кислотности (рН) почвы для различных культурных растений. Ссылка (<https://my-fasenda.ru/garden/kislotnost-pochvy-dlya-rastenij-tablicy/>)

**Спасибо за внимание**

**515vvsh@gmail.ru**