

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук  
(ИГД УрО РАН)

д.т.н., г.н.с. Антонов Владимир Александрович

## **ПОСТРОЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ФАКТОРНЫХ УРАВНЕНИЙ НЕЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ**

### **ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**СОЗДАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ, РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ В  
НАУЧНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ФАКТОРНЫХ  
УРАВНЕНИЙ НЕЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ ПОВЫШЕННОЙ ДОСТОВЕРНОСТИ  
(ТРЕНДОВ ФСП), В КОТОРЫХ ПАРАМЕТРЫ ФУНКЦИЙ РАССЧИТЫВАЮТСЯ  
КАК ОПТИМАЛЬНЫЕ (САМООПРЕДЕЛЯЮТСЯ) В ОБЛАСТИ ДРОБНЫХ,  
ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ РАЦИОНАЛЬНЫХ ЧИСЕЛ**



СОЗДАНА МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ, РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ В НАУЧНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ФАКТОРНЫХ УРАВНЕНИЙ НЕЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ С САМООПРЕДЕЛЯЮЩИМИСЯ ПАРАМЕТРАМИ (УРАВНЕНИЙ, ТРЕНДОВ ФСП)

СОДЕРЖАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ

Функционально-факторный принцип формирования и распространения регрессии

Классификация уравнений ФСП с разделением на виды и типы

Оптимизация уравнений новым численным методом приближений параболической вершины (МППВ)

Унифицированная методика расчета функциональных параметров уравнений ФСП разных видов и типов

Программные средства автоматизированного расчета и построения уравнений, трендов ФСП

Новый критерий оценки достоверности уравнений и трендов ФСП, основанный на соответствии их детерминации погрешностям экспериментов

Приемы комбинированного моделирования уравнениями ФСП исследуемых объектов и интерпретации результатов экспериментальных измерений





## ЦЕЛИ РЕГРЕССИИ ФСП

### ИЗВЛЕЧЕНИЕ НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ И ПРАКТИЧЕСКОЙ ПОЛЬЗЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ

- **УСТАНОВЛЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ВИДА И ИСТОЛКОВАНИЯ** ПРИРОДНОЙ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИЛИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ **ЗАКОНОМЕРНОСТИ**, ПО КОТОРОЙ С НЕКОТОРЫМ СЛУЧАЙНЫМ ОТКЛОНЕНИЕМ РАСПРЕДЕЛЕНА ЗНАЧЕНИЯ ЗАВИСИМОЙ ВЕЛИЧИНЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ (УЗЛОВЫЕ ТОЧКИ), (НАПРИМЕР. УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ РОСТА ДОБЫЧИ РУДЫ, ОБЪЯСНЕНИЕ СНИЖЕНИЯ ЕЕ УДЕЛЬНОЙ СЕБЕСТОИМОСТИ)
- **СОЗДАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ** ИССЛЕДУЕМОГО ОБЪЕКТА ИЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА (НАПРИМЕР, КОНТУРА РУДНОГО ПЛАСТА, РЕЖИМА ОБОГАЩЕНИЯ РУД)
- **ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ** ОТОБРАЖАЕМЫХ РЕГРЕССИЕЙ ОБЪЕКТОВ ИЛИ ПРОЦЕССОВ (НАПРИМЕР, ПОЛОЖЕНИЕ ЭКСТРЕМУМОВ И АСИМПТОТ, ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА И ПОКАЗАТЕЛЯ СТЕПЕНИ, ПАРАМЕТРЫ ЗАЛЕГАНИЯ РУДНЫХ ТЕЛ В ОБРАТНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ)
- **ПРЕДСКАЗАНИЯ** (ПРОГНОЗА) ЗНАЧЕНИЙ ЗАВИСИМОЙ ВЕЛИЧИНЫ В ОБЛАСТЯХ ИНТЕРПОЛЯЦИИ И ЭКСТРАПОЛЯЦИИ (НАПРИМЕР, ПРОГНОЗ БУДУЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, ОЖИДАЕМОЙ ЦЕНЫ НА МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ)
- **УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ ИЛИ ПРОЦЕССОМ** ПО УРАВНЕНИЮ РЕГРЕССИИ (НАПРИМЕР. УПРАВЛЕНИЯ АНАЛИЗОМ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ГОРНЫХ ПОРОД ПО РЕГРЕССИОННОМУ ГРАДУИРОВАННОМУ УРАВНЕНИЮ)



# ФУНКЦИОНАЛЬНО-ФАКТОРНЫЙ ПРИНЦИП ФОРМИРОВАНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ РЕГРЕССИИ

## ➤ **ФАКТОРЫ**

ПОД ФАКТОРАМИ ПОНИМАЮТСЯ ПРИЧИНЫ, ИСХОДЯЩИЕ ОТ ИССЛЕДУЕМОГО ОБЪЕКТА, ПРОЦЕССА ИЛИ ЯВЛЕНИЯ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РЕГРЕССИЮ И ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЕЕ ХАРАКТЕР ИЛИ ОТДЕЛЬНЫЕ ЧЕРТЫ

## ➤ **ДЕЙСТВИЕ ФАКТОРОВ РЕАЛИЗУЕТСЯ МАТЕМАТИЧЕСКИМИ ФУНКЦИЯМИ**

- ЗАВИСИТ ОТ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ВЕЛИЧИН ( АРГУМЕНТОВ);
- НАЧАЛЬНО **ВЫРАЖАЕТСЯ ФУНКЦИЯМИ В ОБЩЕМ ВИДЕ**

## ➤ **ВИД ФАКТОРНЫХ ФУНКЦИЙ ФОРМИРУЕТСЯ**

- ПО ТЕОРЕТИЧЕСКИМ ПРЕДСТАВЛЕНИЯМ ФАКТОРНОГО ВЛИЯНИЯ, ОБЪЯСНЯЮЩИМ РЕГРЕССИЮ;
- С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ (МОНОТОННОСТЕЙ) РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЗАВИСИМОЙ ВЕЛИЧИНЫ, ПОЛУЧЕННЫХ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ

## ➤ **РЕГРЕССИЯ РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ ИНТЕРПОЛЯЦИЕЙ И ЭКСТРАПОЛЯЦИЕЙ**

В ОБЛАСТЬ АРГУМЕНТОВ, ГДЕ ДЕЙСТВУЮТ УЧЕННЫЕ ФАКТОРЫ И НАЗНАЧЕНА ЦЕЛЬ РЕГРЕССИИ

## ➤ **ЦЕЛИ, ФАКТОРЫ И ИНТЕРВАЛЫ РЕГРЕССИИ ВЗАИМОСВЯЗАНЫ**



## В ОБЛАСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РЕГРЕССИИ

- **ВЫПОЛНЯЕТСЯ УСЛОВИЕ ОДНОРОДНОСТИ (ОДИНАКОВЫХ СВОЙСТВ) ОБЛАСТИ И ОКРЕСТНОСТЕЙ УЗЛОВЫХ ТОЧЕК**
  - **ФАКТОРЫ, ФУНКЦИОНАЛЬНО УЧТЕННЫЕ В УРАВНЕНИЯХ, ДЕЙСТВУЮТ ТАК ЖЕ, КАК В УЗЛОВЫХ ТОЧКАХ**
  - **НЕ ПРЕДПОЛАГАЕТСЯ ПОЯВЛЕНИЕ ДРУГИХ (ВНОВЬ ВОЗНИКШИХ) РЕГРЕССИОННЫХ ФАКТОРОВ**
  - **СОХРАНЯЮТСЯ СВОЙСТВА ОБЛАСТИ, КОСВЕННО ВЛИЯЮЩИЕ НА РЕГРЕССИЮ, ТАКИМИ ЖЕ, КАК В УЗЛОВЫХ ТОЧКАХ**
  - **ОТСУТСТВУЮТ СТРУКТУРНЫЕ НЕ ФАКТОРНЫЕ НАРУШЕНИЯ (РАЗРЫВЫ, СДВИГИ)**
  - **СОХРАНЯЮТСЯ ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ И ПАРАМЕТРОВ УРАВНЕНИЙ, А ТАКЖЕ ОЦЕНКА ИХ ДЕТЕРМИНАЦИИ И АДЕКВАТНОСТИ, РАССЧИТАННЫЕ ПО УЗЛОВЫМ ТОЧКАМ**



# КЛАССИФИКАЦИЯ УРАВНЕНИЙ ФСП ПО ВИДАМ И ТИПАМ

## ➤ ПРИЗНАКИ ВИДОВ УРАВНЕНИЙ

- **НАБОРЫ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ФАКТОРНЫХ ФУНКЦИЙ** (СТЕПЕННЫЕ, ПОКАЗАТЕЛЬНЫЕ, НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ)
- **ХАРАКТЕРНЫЕ ЧЕРТЫ ФАКТОРНЫХ ФУНКЦИЙ** (АССИМЕТРИЧНОЕ ЛЕВОСТОРОННЕЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, КВАЗИСТУПЕНЧАТЫЙ ПЕРЕХОД)
- **ПРОИСХОЖДЕНИЕ ФАКТОРНЫХ ФУНКЦИЙ** (АНОМАЛЬНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ – ШАРА, ПРОТЯЖЕННОГО ЦИЛИНДРА, УСТУПА)

## ➤ ПРИЗНАКИ ТИПОВ УРАВНЕНИЙ

- **КОЛИЧЕСТВО АРГУМЕНТОВ И УЧТЕННЫХ ФАКТОРОВ**
- **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УЧТЕННЫХ ФАКТОРОВ** (А – АДДИТИВНОЕ, М – МУЛЬТИПЛИКАТИВНОЕ)
- **САМООПРЕДЕЛЯЮЩИЕСЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ** ( $\xi_1, \xi_2, \dots$ )

НАПРИМЕР, Тренд вида ПС СПС типа  $A-X_1(\mu_{11}, \mu_{12}) X_2(\mu_{21})$  ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ ПОЛИНОМ СТЕПЕННОЙ С САМООПРЕДЕЛЯЮЩИМИСЯ ПОКАЗАТЕЛЯМИ СТЕПЕНИ  $\mu_{11}, \mu_{12}, \mu_{21}$ , В КОТОРОМ АДДИТИВНО ДЕЙСТВУЮТ ДВА СТЕПЕННЫХ ФАКТОРА, ЗАВИСЯЩИЕ ОТ АРГУМЕНТА  $X_1$ , И ОДИН СТЕПЕННОЙ ФАКТОР, ЗАВИСЯЩИЙ ОТ АРГУМЕНТА  $X_2$



# ОПТИМИЗАЦИЯ УРАВНЕНИЙ РЕГРЕССИИ

- **КРИТЕРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ** - МАКСИМИЗАЦИЯ ГЛАДКОЙ И НЕПРЕРЫВНОЙ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ – **КОЭФФИЦИЕНТА ДЕТЕРМИНАЦИИ  $R^2(\xi_j)$**  УРАВНЕНИЯ

$$R^2(\xi_j) = 1 - \frac{D(\xi_j)}{D}$$

ГДЕ  $\xi_j$  – ПАРАМЕТРЫ ФАКТОРНЫХ ФУНКЦИЙ;  $D$  – ДИСПЕРСИЯ ЗНАЧЕНИЙ ЗАВИСИМОЙ ВЕЛИЧИНЫ В УЗЛОВЫХ ТОЧКАХ;  $D(\xi_j)$  – ДИСПЕРСИЯ ОТКЛОНЕНИЙ РЕГРЕССИИ ОТ УЗЛОВЫХ ТОЧЕК.

- **ОПТИМИЗАЦИЯ УРАВНЕНИЙ ФСП ПРОВОДИТСЯ СОВМЕЩЕНО:**
  - МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ (МНК);
  - ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ ПРИБЛИЖЕНИЙ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ВЕРШИНЫ (МППВ), РАЗРАБОТАННЫМ В ИГД УРО РАН
- РАСЧЕТЫ МППВ ПРОВОДЯТСЯ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ЧЕРЕДУЮЩИХСЯ ЧАСТНЫХ ЦЕЛЕВЫХ ФУНКЦИЯХ (СЕЧЕНИЯХ  $R_0^2(\xi_j)$ ) РАЗНОЙ МЕРНОСТИ, СОДЕРЖАЩИХ ПО **ОДНОМУ** ГЛОБАЛЬНОМУ МАКСИМУМУ
- В ПРОЦЕССЕ ЧЕРЕДОВАНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ В СЕЧЕНИЯХ  $R_0^2(\xi_j)$  ПО ПОВТОРЯЮЩИМСЯ ЦИКЛАМ **РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ  $\xi_j$  ПРИБЛИЖАЮТСЯ К ОПТИМАЛЬНЫМ ЗНАЧЕНИЯМ**
- В ИТОГЕ, **РАССЧИТЫВАЕТСЯ** С ЗАДАННОЙ ПОГРЕШНОСТЬЮ **СОВОКУПНОСТЬ** ОПТИМАЛЬНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ

$$\xi_1, \xi_2, \xi_3 \dots \xi_m$$

УРАВНЕНИЯ, ПРИ КОТОРОЙ КОЭФФИЦИЕНТ ЕГО ДЕТЕРМИНАЦИИ

**$R^2(\xi_j)$  НАИБОЛЬШИЙ ИЗ ВСЕХ ВОЗМОЖНЫХ, ОЦЕНИВАЕМЫХ МНК**



# МЕТОД ПРИБЛИЖЕНИЙ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ВЕРШИНЫ

- СУТЬ МЕТОДА СОСТОИТ В ИТЕРАЦИОННОМ ПРОЦЕССЕ УТОЧНЯЮЩЕЙСЯ АППРОКСИМАЦИИ ОБЛАСТИ МАКСИМУМА  $m$ -МЕРНОЙ ФУНКЦИИ  $R^2_0(\xi_j)$  ВЕРШИНОЙ  $m$ -МЕРНОЙ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ

$$P(\xi_j) = C + \sum_{j=1}^m (C_{j1}\xi_j + C_{j2}\xi_j^2),$$

ПОСТРОЕННОЙ ПО  $2m+1$  ОПОРНЫМ ТОЧКАМ, ПРИНАДЛЕЖАЩИМ ОБОИМ ФУНКЦИЯМ

- ОБЛАСТЬ МАКСИМУМА  $R^2_0(\xi_j)$  ЛОКАЛИЗУЕТСЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТОВ, ОСЕВОГО ИЛИ ЦЕНТРАЛЬНОГО СКАНИРОВАНИЯ
- В ОБЛАСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ УСТАНАВЛИВАЮТСЯ ОПОРНЫЕ ТОЧКИ ПО ПРАВИЛУ ОРТОГОНАЛЬНОГО ВОГНУТОГО ПЕРЕКРЕСТКА (ЦЕНТРАЛЬНАЯ И СМЕЩЕННЫЕ НА ИНТЕРВАЛ  $\pm \Delta\xi_j$  ОТ НЕЕ ОСТАЛЬНЫЕ ТОЧКИ,  $C_{j2} < 0$ )

## ➤ СОСТАВ ИТЕРАЦИЙ

- РАССЧИТЫВАЮТСЯ КООРДИНАТЫ НОВОЙ ОПОРНОЙ ТОЧКИ — ВЕРШИННЫЕ АРГУМЕНТЫ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ  $\xi_{jB}$  И СООТВЕТСТВУЮЩЕЕ ИМ ЗНАЧЕНИЕ  $R^2_0(\xi_{jB})$
- ПЕРЕМЕЩАЮТСЯ ОПОРНЫЕ ТОЧКИ В НАПРАВЛЕНИИ РОСТА  $R^2_0$  ПО ВАРИАНТАМ:
  - ПЕРЕНОСИТСЯ ПЕРЕКРЕСТОК ОПОРНЫХ ТОЧЕК НА МЕСТО НОВОЙ ТОЧКИ, ЛИБО НА ИНТЕРВАЛ  $\Delta\xi_j$
  - ЗАМЕНЯЕТСЯ ОДНА ИЗ ОПОРНЫХ ТОЧЕК С НАИМЕНЬШИМ ЗНАЧЕНИЕМ  $R^2_0$  НА НОВУЮ ОПОРНУЮ ТОЧКУ
- В РЕЗУЛЬТАТЕ ИТЕРАЦИЙ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ ОПОРНЫХ ТОЧЕК И ВЕРШИНЫ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ К ТОЧКЕ МАКСИМУМА ФУНКЦИИ  $R^2_0(\xi_j)$



# УНИФИКАЦИЯ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ РАСЧЕТОВ МППВ

## ПРИЗНАКИ УНИФИКАЦИИ МЕТОДИКИ (М) РАСЧЕТОВ

- **СПОСОБЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ (Л)** ОБЛАСТИ МАКСИМУМА  $R^2_0$ 
  - $\Phi$  – ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ (ПО ХАРАКТЕРНЫМ УЗЛОВЫМ ТОЧКАМ )
  - $O$  – ОСЕВОЕ СКАНИРОВАНИЕ
  - $\Pi$  – ЦЕНТРАЛЬНОЕ СКАНИРОВАНИЕ
- **КОЛИЧЕСТВО ОПОРНЫХ ТОЧЕК** В ИТЕРАЦИЯХ (И)
  - 3Т – строится парабола,
  - 5Т – строится эллиптический параболоид,
  - 7Т и т. д.
- **КОЛИЧЕСТВО СЕЧЕНИЙ  $R^2_0$**  С ОДИНАКОВЫМ СПОСОБОМ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЧИСЛОМ ОПОРНЫХ ТОЧЕК - 1, 2, 3 и т. д.

В УРАВНЕНИИ  $A_1x^{\mu_1} + A_2x^{\mu_2} + A_3x^{\mu_3} + B$

ПОКАЗАТЕЛИ СТЕПЕНИ  $\mu_1, \mu_2, \mu_3$

ОПТИМИЗИРУЮТСЯ ПО МЕТОДИКЕ  
**МОЛИЗТ-3,**

СОДЕРЖАЩЕЙ В ТРЕХ СЕЧЕНИЯХ  $R^2_{01}, R^2_{02}$ .

$R^2_{01}$  ОСЕВУЮ ЛОКАЛИЗАЦИЮ И  
ИТЕРАЦИИ В ТРЕХ ОПОРНЫХ ТОЧКАХ

В УРАВНЕНИИ

$$\frac{A}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$

ПАРАМЕТРЫ  $\sigma, \bar{x}$

ОПТИМИЗИРУЮТСЯ ПО МЕТОДИКЕ  
**МФЛИ5Т-1,**

СОДЕРЖАЩЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНУЮ  
ЛОКАЛИЗАЦИЮ И ИТЕРАЦИИ В ПЯТИ  
ОПОРНЫХ ТОЧКАХ



# СОЗДАНА, ЗАРЕГИСТРИРОВАНА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И АПРОБИРОВАНА В ПРАКТИКЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

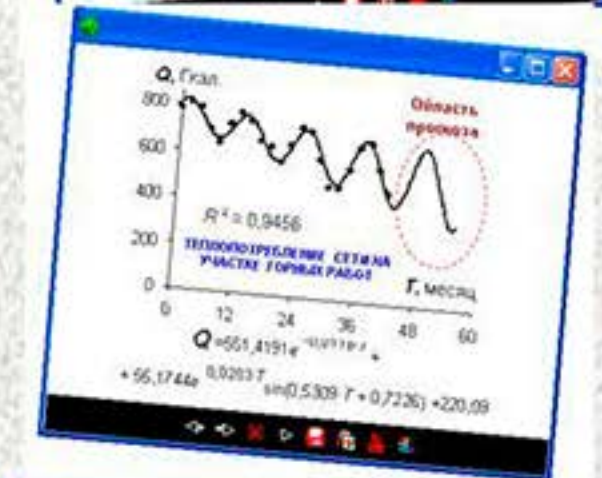
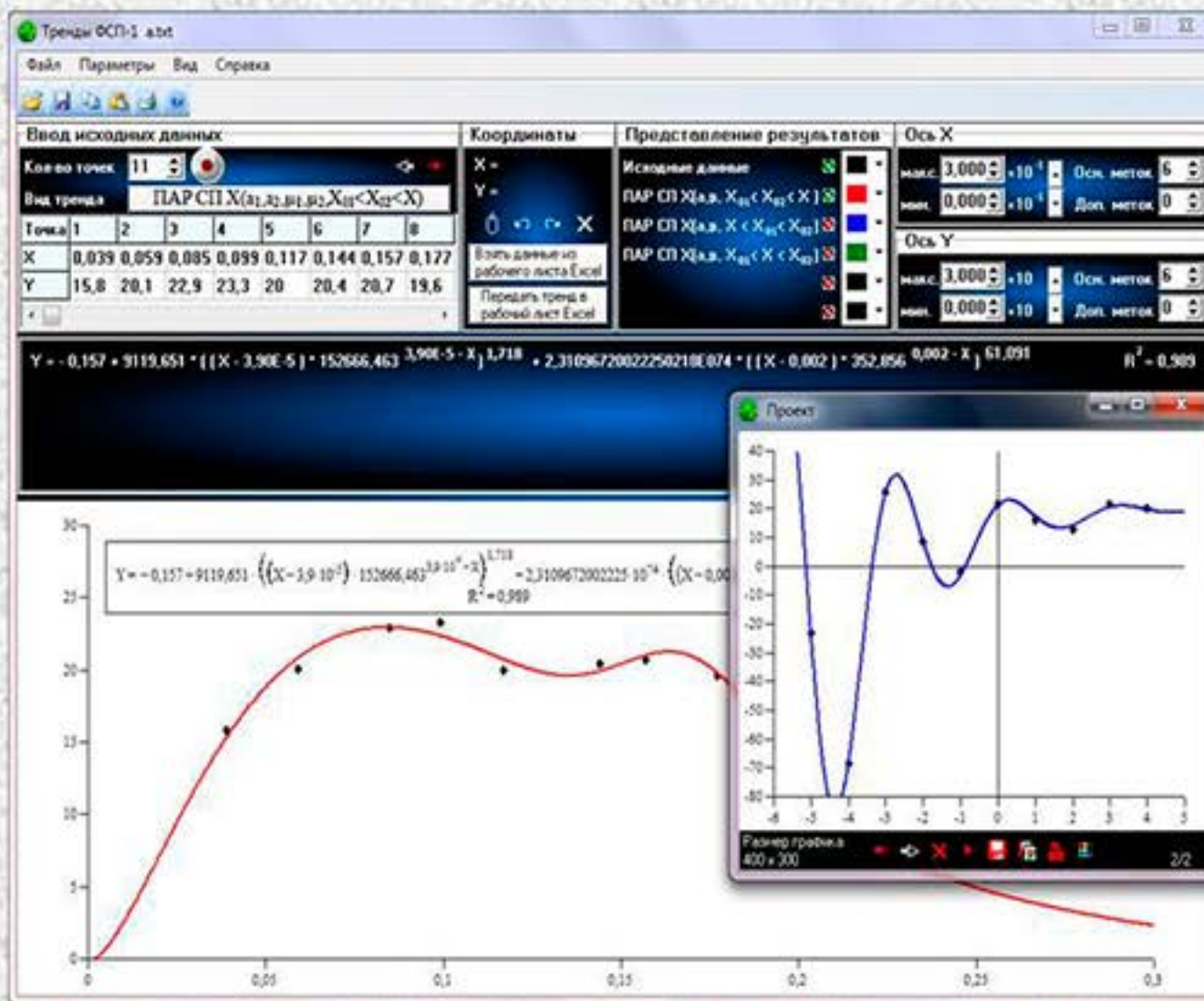
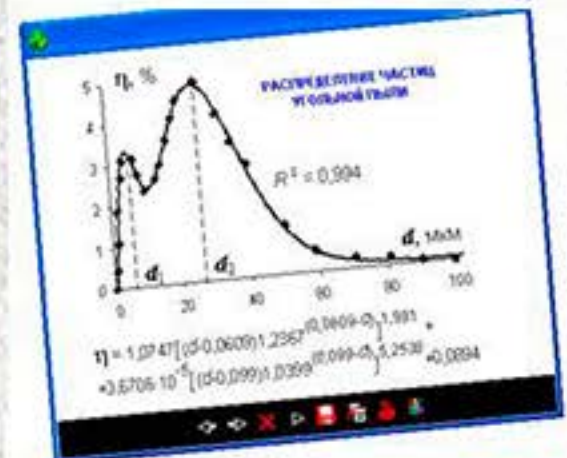
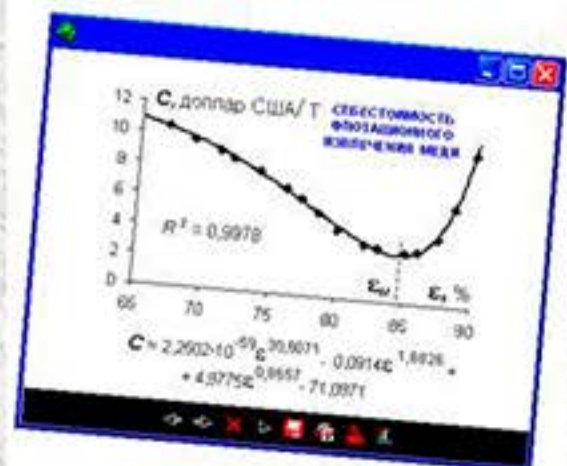
## КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА «ТРЕНДЫ ФСП-1»

автоматического построения двумерных функционально-факторных уравнений нелинейной регрессии повышенной достоверности с самоопределяющимися параметрами

Применение трендов ФСП в экспериментальных исследованиях

- Строятся уравнения нелинейной регрессии 24 типов с разными функциями
- Показатели степени, коэффициенты и основания функций рассчитываются самой программой

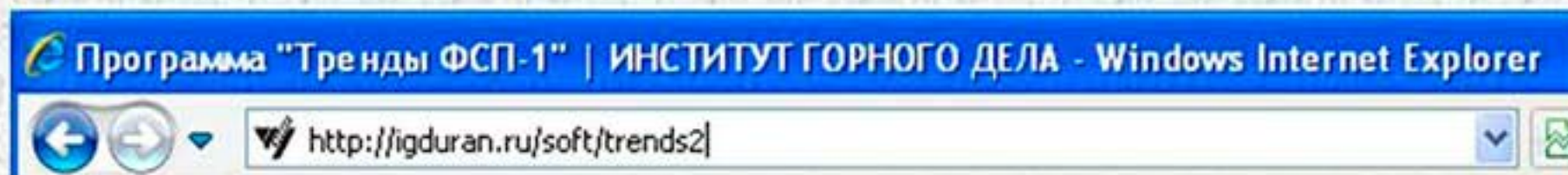
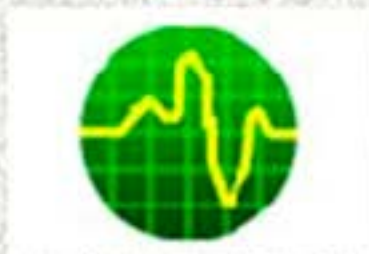
Применение трендов ФСП в моделировании и прогнозировании



Авторы - д.т.н. Антонов В. А., Яковлев М. В.



# ПРОГРАММА «ТРЕНДЫ ФСП-1» ОПУБЛИКОВАНА В ИНТЕРНЕТЕ



Все права защищены  
© 2011 Внесено в Реестр РФ программ для ЭВМ  
Свидетельство о государственной регистрации № 2011616230

- Программа предназначена для расчета и графического построения двумерных функционально-факторных уравнений нелинейной регрессии, трендов.
- Программа применяется в регрессионном анализе зависимых математических и физических величин, а также других параметров и показателей (социологических, технических, экономических) в разных областях промышленности, науки и техники.

**СКАЧАТЬ:** <http://igduran.ru/soft/trends2>

Описание программы в виде файла справки на русском языке

Описание программы в виде файла справки на английском языке

Программу «Тренды ФСП-1»: [trends\\_setup.rar](#)



## КОНТАКТЫ С АВТОРАМИ

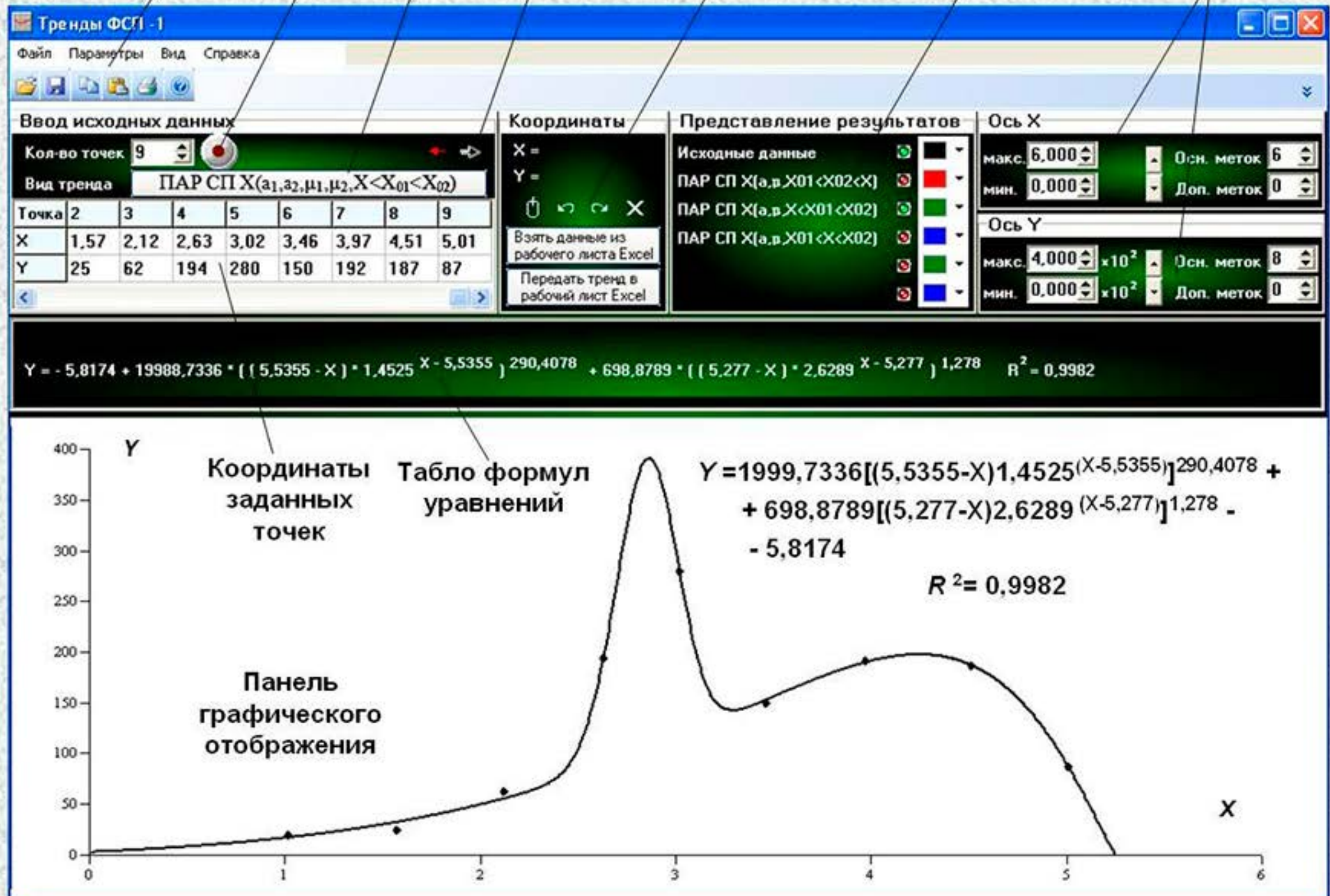
[antonov@igduran.ru](mailto:antonov@igduran.ru) Антонов Владимир Александрович

[mikhail-66@mail.ru](mailto:mikhail-66@mail.ru) Яковлев Михаил Викторович






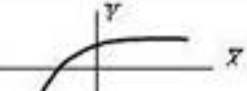
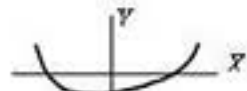
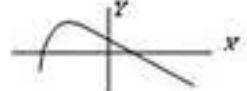

# ГЛАВНАЯ СТРАНИЦА ПРОГРАММЫ «Тренды ФСП-1»

Основные кнопки главного меню    Кнопка «Пуск»    Выбор уравнений    Листание страниц    Ввод точек с помощью мыши    Панель управления графикой    Панели масштаба осей координат





# УРАВНЕНИЯ ПРОГРАММЫ «ТРЕНДЫ ФСП-1»

Кол-во экстремумов	Тип уравнения (самоопределяющиеся параметры)	Формула уравнения регрессии, тренда	Характерный график
<b>ПОЛИНОМНЫЕ СТЕПЕННЫЕ С САМООПРЕДЕЛЯЮЩИМИСЯ ПОКАЗАТЕЛЯМИ СТЕПЕНИ (ПС СПС), <math>X &gt; 0</math></b>			
0	$A \cdot X(\mu)$	$Ax^\mu + B$	
1	$A \cdot X(\mu_1, \mu_2)$	$A_1x^{\mu_1} + A_2x^{\mu_2} + B$	
2	$A \cdot X(\mu_1, \mu_2, \mu_3)$	$A_1x^{\mu_1} + A_2x^{\mu_2} + A_3x^{\mu_3} + B$	
	«Ориентированный»	Выбирается автоматически из следующих типов $A \cdot X(\mu)$ , либо $A \cdot X(\mu_1, \mu_2)$ , либо $A \cdot X(\mu_1, \mu_2, \mu_3)$	
<b>ПОЛИНОМНЫЕ ПОКАЗАТЕЛЬНЫЕ С САМООПРЕДЕЛЯЮЩИМИСЯ КОЭФФИЦИЕНТАМИ В ПОКАЗАТЕЛЯХ СТЕПЕНИ (ПП СК)</b>			
0	$A \cdot X(\beta)$	$Aa^{\beta x} + B$	
0, 1	$A \cdot X(\beta_1, \beta_2)$	$A_1a^{\beta_1 x} + A_2a^{\beta_2 x} + B$	
<b>ПОЛИНОМНОЕ ПОКАЗАТЕЛЬНОЕ И ЛИНЕЙНОЕ СТЕПЕННОЕ С САМООПРЕДЕЛЯЮЩИМСЯ КОЭФФИЦИЕНТОМ В ПОКАЗАТЕЛЕ СТЕПЕНИ (ППЛС СК)</b>			
0, 1	$A \cdot X(\beta, \mu=1)$	$A_1a^{\beta x} + A_2x + B$	
<b>НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ С САМООПРЕДЕЛЯЮЩИМИСЯ КОЭФФИЦИЕНТАМИ (НР СК), <math>\sigma &gt; 0</math></b>			
1	$M \cdot X(\bar{x}, \sigma)$	$A \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$	

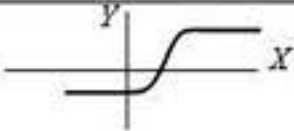
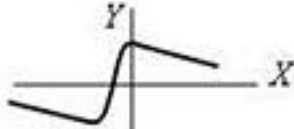
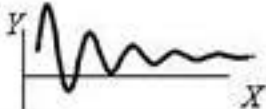


## УРАВНЕНИЯ ПРОГРАММЫ «ТРЕНДЫ ФСП-1»

Кол-во экстремумов	Тип уравнения (самоопределяющиеся параметры)	Формула уравнения регрессии, тренда	Характерный график
<b>ПОЛИНОМНОЕ ПОКАЗАТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ И НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ С САМООПРЕДЕЛЯЮЩИМИСЯ КОЭФФИЦИЕНТАМИ (ППНР СК), <math>\sigma &gt; 0</math></b>			
1	AM-X( $\beta, \bar{x}, \sigma$ )	$A_1 a^{\beta x} + A_2 \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} + B$	
<b>ПОЛИНОМНЫЕ АССИМЕТРИЧНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ С САМООПРЕДЕЛЯЮЩИМИСЯ ОСНОВАНИЯМИ И ПОКАЗАТЕЛЯМИ СТЕПЕНИ (ПАР СП), <math>X &gt; 0, a &gt; 1, \mu &gt; 0</math></b>			
1	M-X( $a, \mu$ )	$A [x a^{-x}]^{\mu} + B$	
1	M-X( $a, \mu, x > x_0$ )	$A [(x-x_0) a^{x-x_0}]^{\mu} + B$	
1	M-X( $a, \mu, x < x_0$ )	$A [(x_0-x) a^{x-x_0}]^{\mu} + B$	
1; 2	AM-X( $a_1, a_2, \mu_1, \mu_2, x > x_{01}, x > x_{02}$ )	$A_1 [(x-x_{01}) a_1^{x-x_{01}}]^{\mu_1} + A_2 [(x-x_{02}) a_2^{x-x_{02}}]^{\mu_2} + B$	
1; 2	AM-X( $a_1, a_2, \mu_1, \mu_2, x < x_{01}, x < x_{02}$ )	$A_1 [(x_{01}-x) a_1^{x-x_{01}}]^{\mu_1} + A_2 [(x_{02}-x) a_2^{x-x_{02}}]^{\mu_2} + B$	
1, 2	AM-X( $a_1, a_2, \mu_1, \mu_2, x_{01} < x < x_{02}$ )	$A_1 [(x_{01}-x) a_1^{x-x_{01}}]^{\mu_1} + A_2 [(x-x_{02}) a_2^{x-x_{02}}]^{\mu_2} + B$	



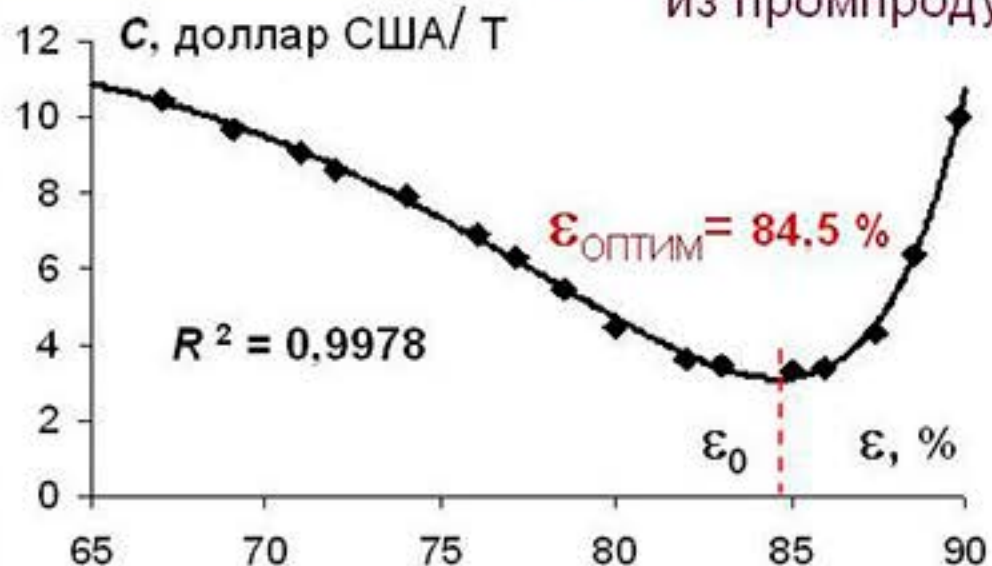
# УРАВНЕНИЯ ПРОГРАММЫ «ТРЕНДЫ ФСП-1»

Кол-во экстремумов	Тип уравнения (самоопределяющиеся параметры)	Формула уравнения регрессии, тренда	Характерный график
<b>ПОЛИНОМНЫЕ КВАЗИСТУПЕНЧАТЫЕ С САМООПРЕДЕЛЯЮЩИМИСЯ ПАРАМЕТРАМИ (ПКС СП)</b> Г – горизонтальные, П – параллельные			
0	A-X(x <sub>0</sub> , β) Г	$\frac{A}{1 + e^{\alpha(X-X_0)}} + B$	
0; 2	A-X(x <sub>0</sub> , β) П	$\frac{A_1}{1 + e^{\alpha(X-X_0)}} + A_2(X - X_0) \sum_{i=2}^{i=3} \frac{1}{1 + e^{(-1)^i \cdot \frac{200(X-X_0)}{(X_n - X_1)}}} + B$	
0; 1; 2	A-X(x <sub>0</sub> , β)	$\frac{A_1}{1 + e^{\alpha(X-X_0)}} + \sum_{i=2}^{i=3} \frac{A_i(X - X_0)}{1 + e^{(-1)^i \cdot \frac{200(X-X_0)}{(X_n - X_1)}}} + B$	
<b>ПОЛИНОМНЫЙ СИНУС (PSin)</b>			
Множество	A-X(ω, φ)	$A \sin(\omega x + \varphi) + B$	
<b>ПОЛИНОМНЫЙ АМПЛИТУДНО-ЗАВИСИМЫЙ СИНУС (PASin)</b>			
Множество	A-X(ω, φ, β <sub>a</sub> )	$A e^{\beta_a x} \sin(\omega x + \varphi) + B$	
<b>ПОЛИНОМНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬНЫЙ С СИНУСОМ (ППSin)</b>			
Множество	A-X(ω, φ, β <sub>п</sub> )	$A_1 \sin(\omega x + \varphi) + A_2 e^{\beta_{п} x} + B$	
<b>ПОЛИНОМНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬНЫЙ С АМПЛИТУДНО-ЗАВИСИМЫМ СИНУСОМ (ППASin)</b>			
Множество	AM-X(ω, φ, β <sub>п</sub> , β <sub>a</sub> )	$A_1 e^{\beta_a x} \sin(\omega x + \varphi) + A_2 e^{\beta_{п} x} + B$	



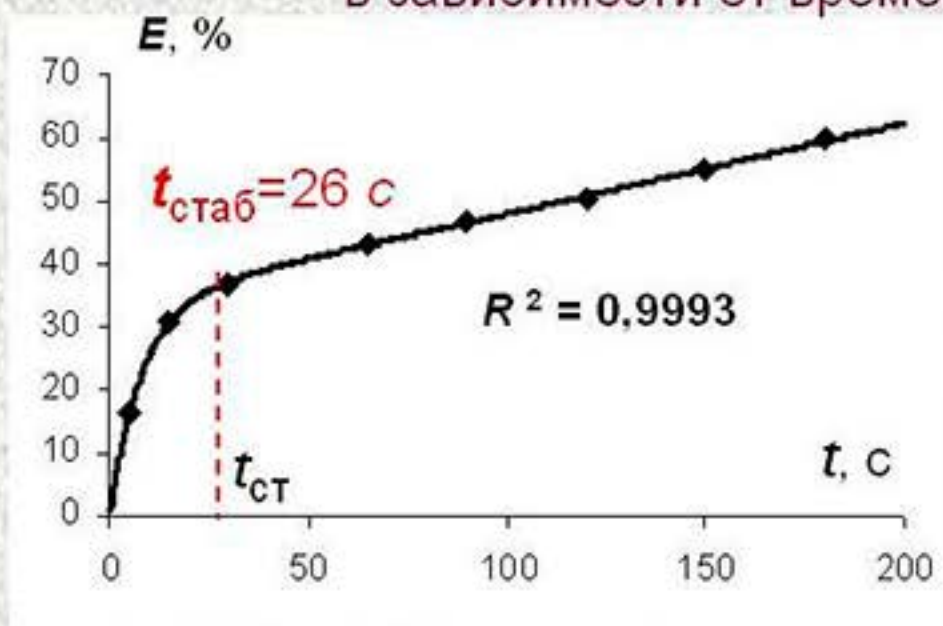
# ПРИМЕРЫ ПОСТРОЕНИЯ ДВУМЕРНЫХ УРАВНЕНИЙ РЕГРЕССИИ ПРОГРАММОЙ «ТРЕНДЫ ФСП-1»

Зависимость себестоимости меди  $C$  от ее флотационного извлечения  $\varepsilon$  из промпродуктов

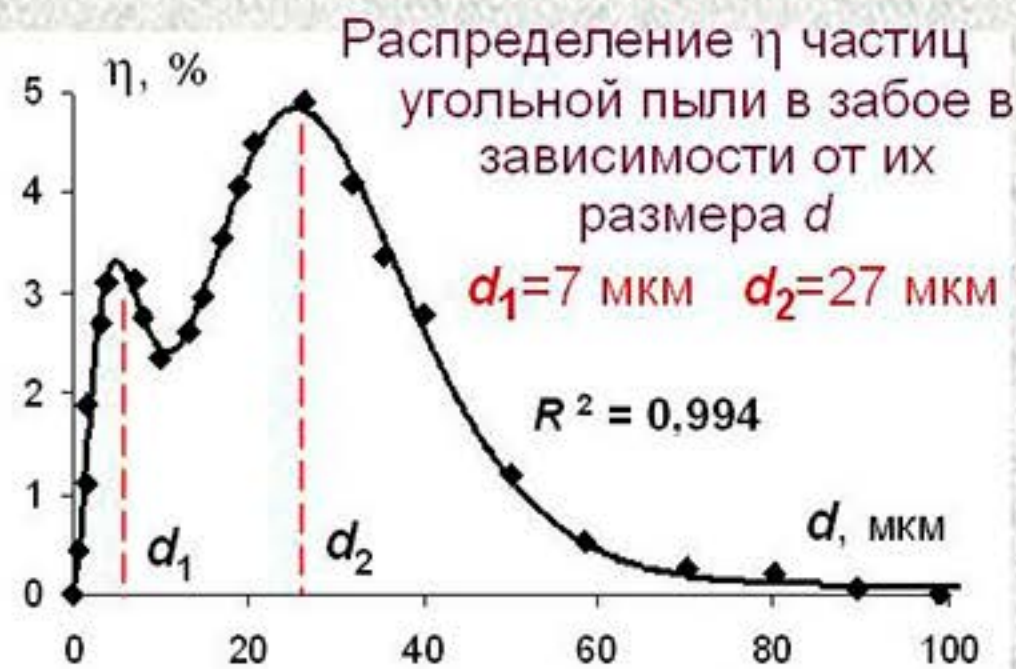


$$C = 2,2502 \cdot 10^{-59} \varepsilon^{30,6071} - 0,0914 \varepsilon^{1,6826} + 4,9775 \varepsilon^{0,8657} - 71,0971$$

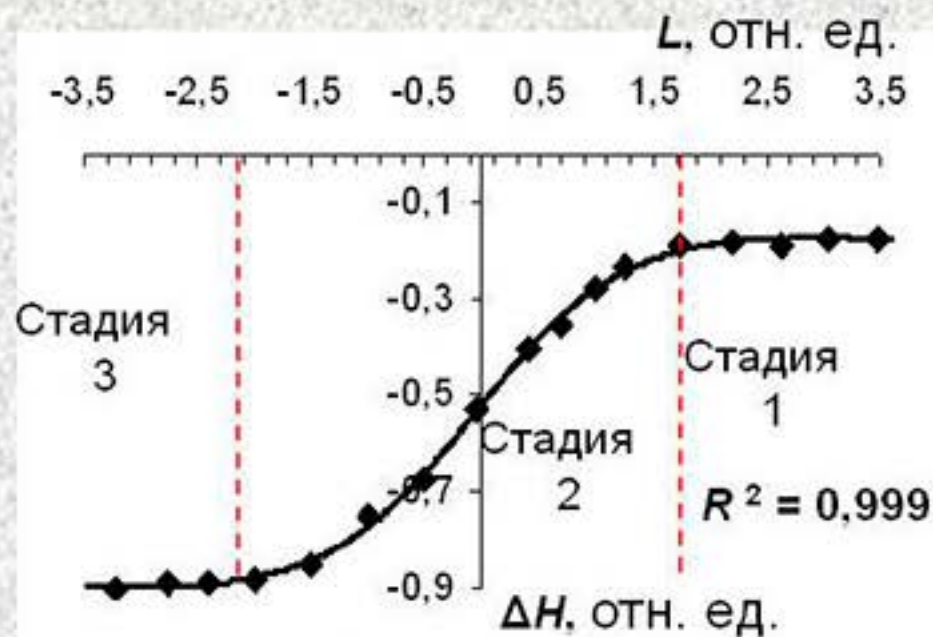
График извлечения  $E$  частиц в концентрат в зависимости от времени  $t$



$$E = 33,7151(1 - e^{-0,1253 \cdot t}) + 0,1433 \cdot t$$



$$\eta = 1,0747[(d - 0,0609)1,2367(0,0609 - d)]^{1,981} + 3,6706 \cdot 10^{-5}[(d - 0,099)1,0399(0,099 - d)]^{5,2538} + 0,0894$$

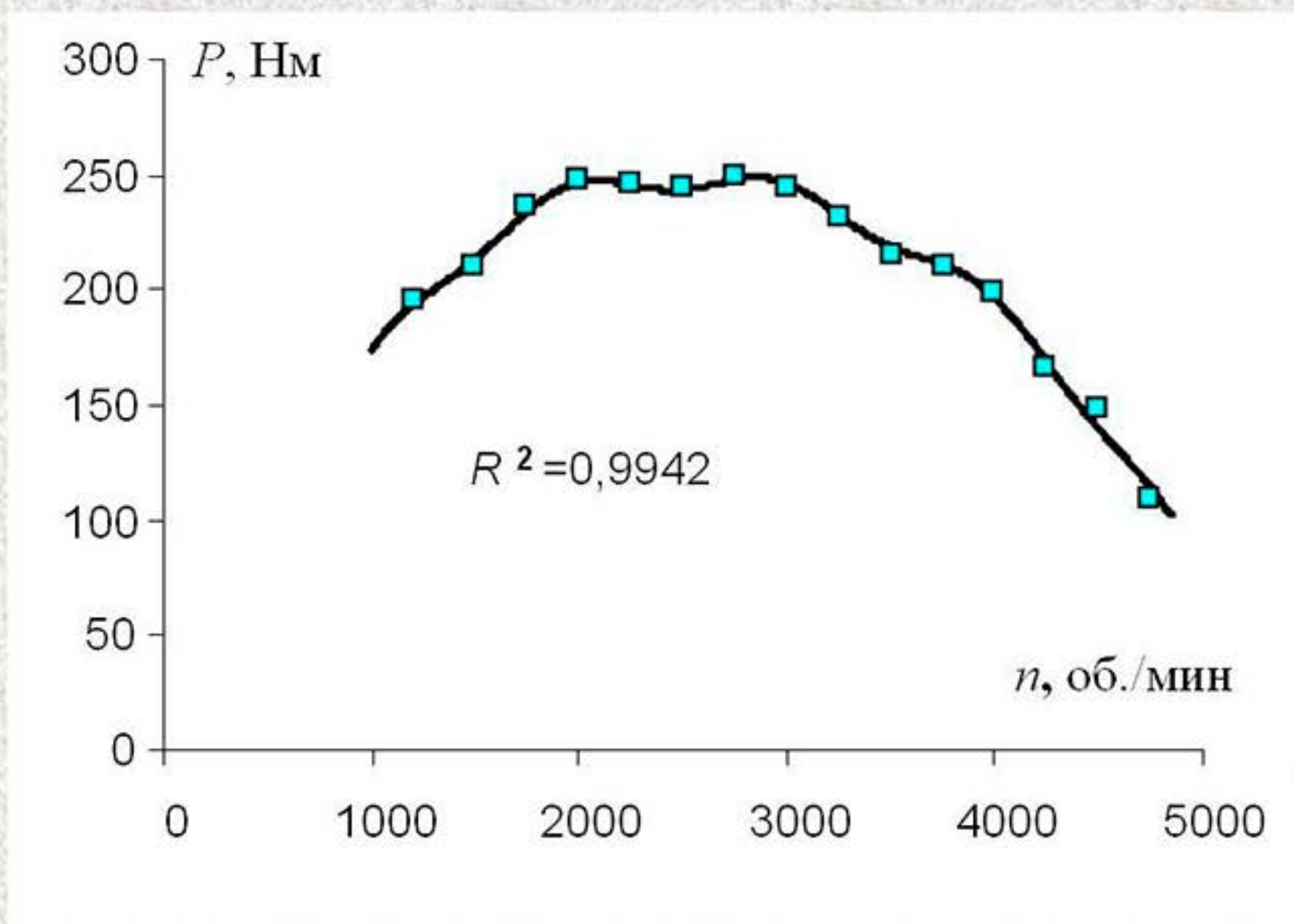


Зависимость осадки  $\Delta H$  мульды поверхности грунта от расстояния  $L$  до забоя

$$\Delta H = 0,8163 / [1 + e^{-1,4979(L + 0,0432)}] - 0,0109(L + 0,0432) / [1 + e^{28,49(L + 0,0432)}] - 0,0138(L + 0,0432) / [1 + e^{-28,49(L + 0,0432)}] - 0,9384$$



# УСТАНОВЛЕН И ОБЪЯСНЕН МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ВИД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ МОМЕНТА ВРАЩЕНИЯ $P$ ВАЛА АВТОМОБИЛЬНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ОТ СКОРОСТИ $n$ ЕГО ОБОРОТОВ



УЧТЕНО ДЕЙСТВИЕ ТРЕХ ФАКТОРОВ

1. **МОНОТОННОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ  $P$  - ФАКТОР РОСТА КОНЦЕНТРАЦИИ ПОДАВАЕМОГО В ДВИГАТЕЛЬ ТОПЛИВА**  
(ПОКАЗАТЕЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ)

2. **МОНОТОННОЕ УМЕНЬШЕНИЕ  $P$  - ФАКТОР ПЕРЕНАСЫЩЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОДАВАЕМОГО В ДВИГАТЕЛЬ ТОПЛИВА**  
(ПОКАЗАТЕЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ)

3. **КОЛЕБАНИЯ  $P$  - ФАКТОР БАЛАНСИРОВКИ ДВИГАТЕЛЯ**  
(ФУНКЦИЯ СИНУСА)

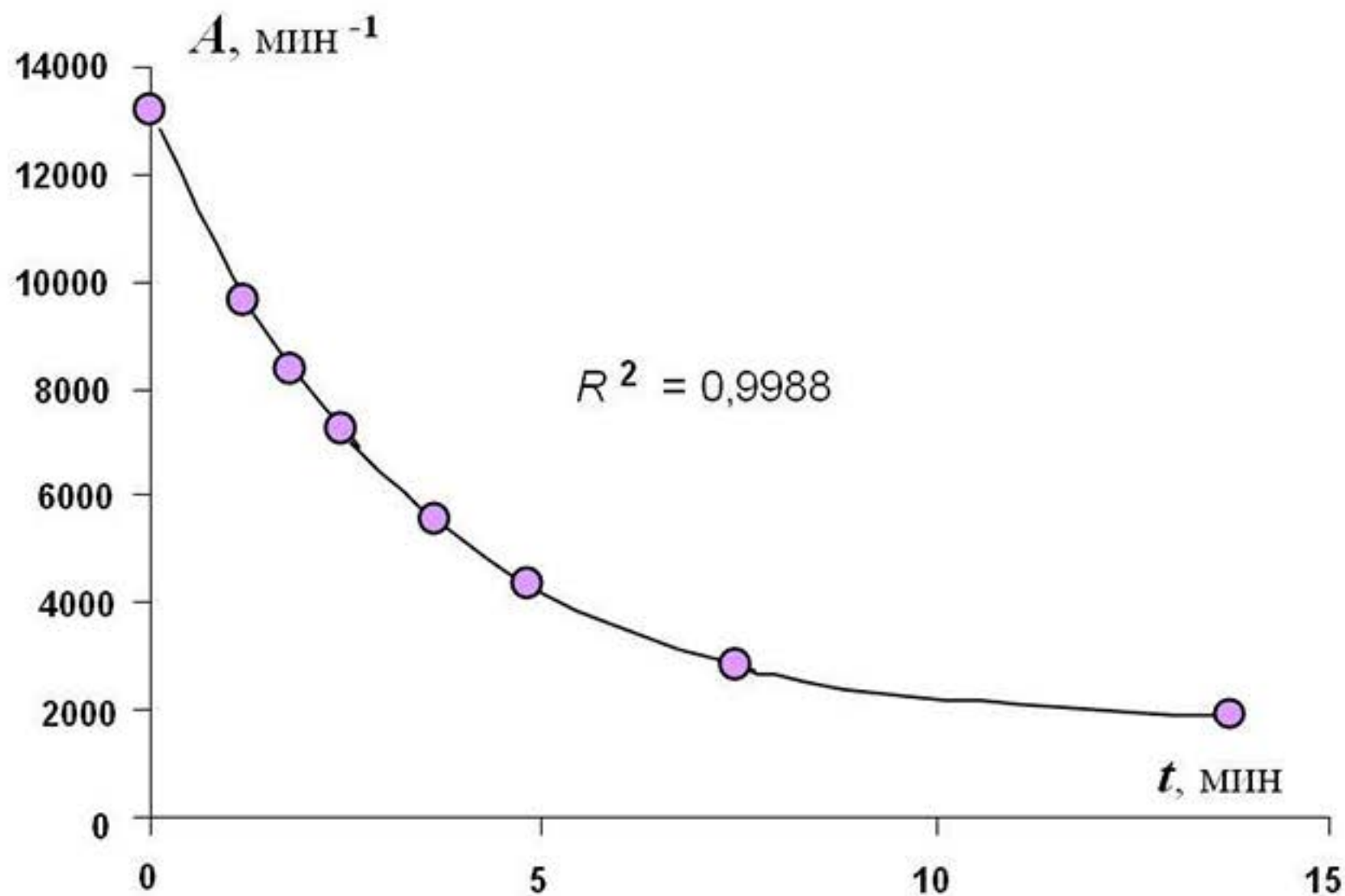
Тренд ПП СК типа А-Х( $\beta_1, \beta_2$ ), ПSin типа А-Х( $\omega, \varphi$ )

$$P = -395,21e^{-0,00112 \cdot n} - 6,506e^{0,00072 \cdot n} + 4,914 \sin(0,00635n + 1,687) + 311,835$$



# ИДЕНТИФИЦИРОВАН НУКЛИДНЫЙ СОСТАВ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ БИНАРНОЙ СМЕСИ

(ПО УРАВНЕНИЮ РЕГРЕССИИ РАДИОАКТИВНОСТИ  $A$ , ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ВО ВРЕМЕНИ  $t$ , )



УЧТЕНЫ ДВА ФАКТОРА  
РАДИОАКТИВНОГО  
РАСПАДА НУКЛИДОВ  
(ПОКАЗАТЕЛЬНЫЕ  
ФУНКЦИИ)

ОПРЕДЕЛЕНА  
ПОСТОЯННЫЕ  
РАСПАДА НУКЛИДОВ:

$\lambda = 0,29994 \text{ мин}^{-1}$   
(**АЛЮМИНИЙ - 28**)

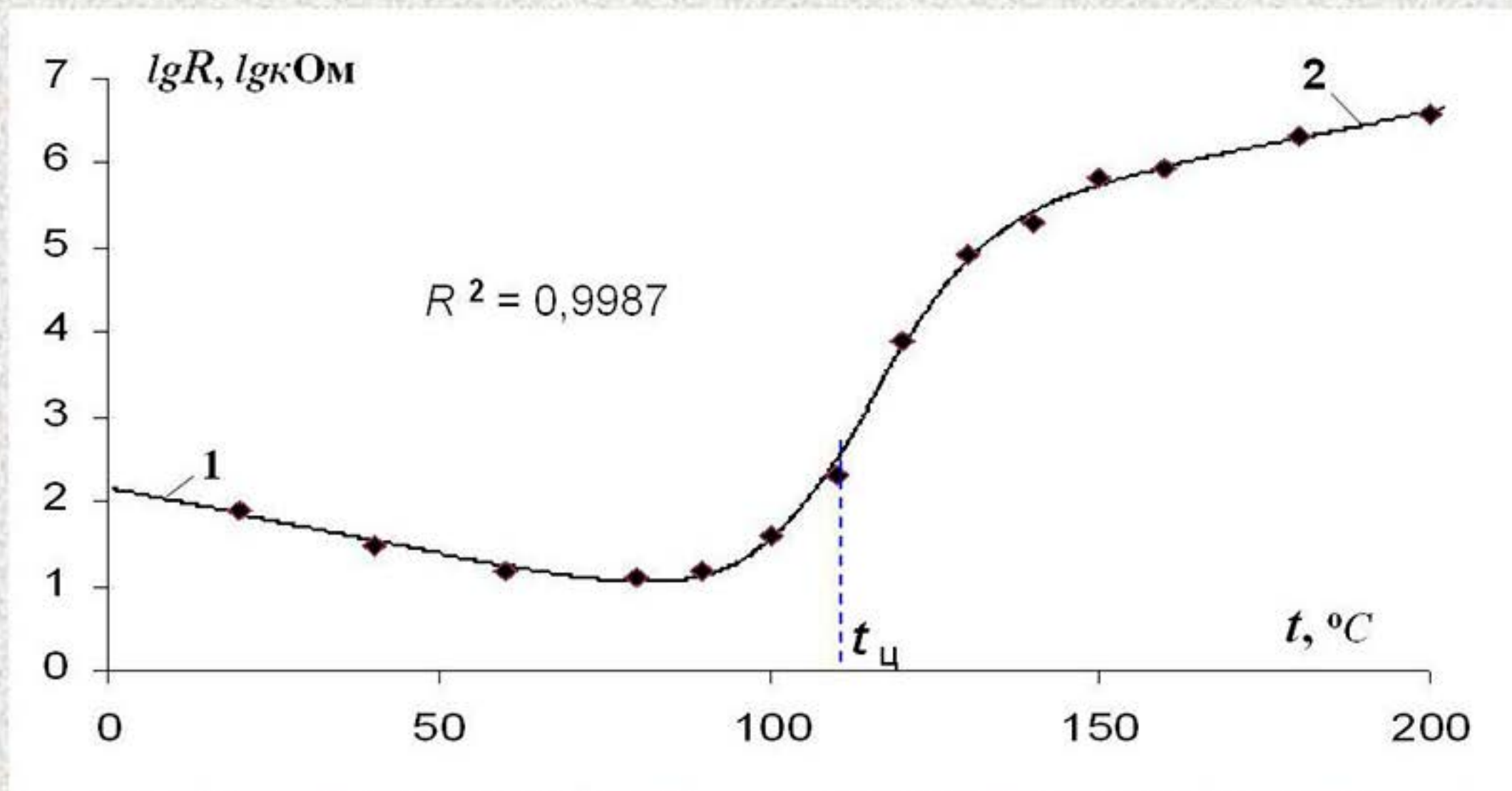
$\lambda = 0,18376 \text{ мин}^{-1}$   
(**МАГНИЙ - 27**)

Тренд ПП СК типа  $A-X(\beta_1, \beta_2)$

$$A = 1529,55 + 11312,1 \cdot e^{-0,29994 \cdot t} + 366,35 \cdot e^{-0,18376 \cdot t}$$



УСТАНОВЛЕНО МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ВЫРАЖЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ  $R$  ПОЗИСТОРА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ  $t$  В ЛОКАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА



Тренд ПКС СП типа А-Х( $x_0, \beta$ )

$$\lg R = \frac{4,839}{1 + e^{-0,1099(t-113,1)}} - \frac{0,0154(t-113,1)}{1 + e^{1,111(t-113,1)}} + \frac{0,0158(t-113,1)}{1 + e^{-1,111(t-113,1)}} + 0,4088$$

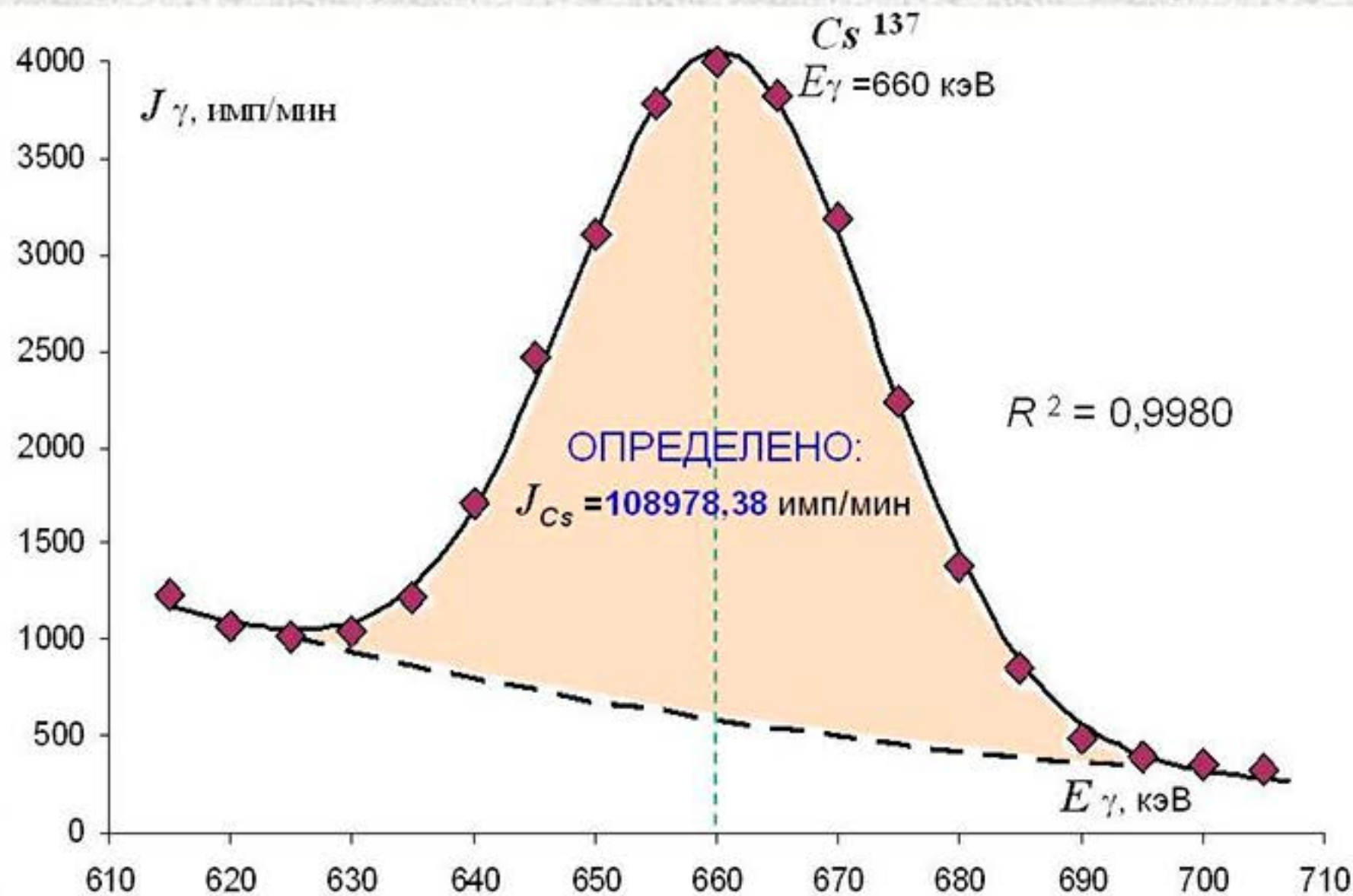
1- до фазового перехода  
 $\lg R = -0,0154 \cdot t + 2,1505$

Температура центра  
 фазового перехода  
 $t_{\text{ц}} = 113,1$

2- после фазового перехода  
 $\lg R = 0,0158 \cdot t + 3,4608$



# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ $J_{Cs}$ НУКЛИДА ЦЕЗИЙ-137 ПО ИЗМЕРЕНИЯМ СПЕКТРОМЕТРА



УЧТЕНО ДЕЙСТВИЕ  
 ДВУХ ФАКТОРОВ

1. МОНОТОННОЕ  
 УМЕНЬШЕНИЕ  
 ФОНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
 (ПОКАЗАТЕЛЬНАЯ  
 ФУНКЦИЯ)

2. РАССЕЯНИЕ  
 ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ  
 НУКЛИДА  $Cs^{137}$   
 В ОБЛАСТИ ФОТОПИКА  
 (ФУНКЦИЯ  
 НОРМАЛЬНОГО  
 РАСПРЕДЕЛЕНИЯ)

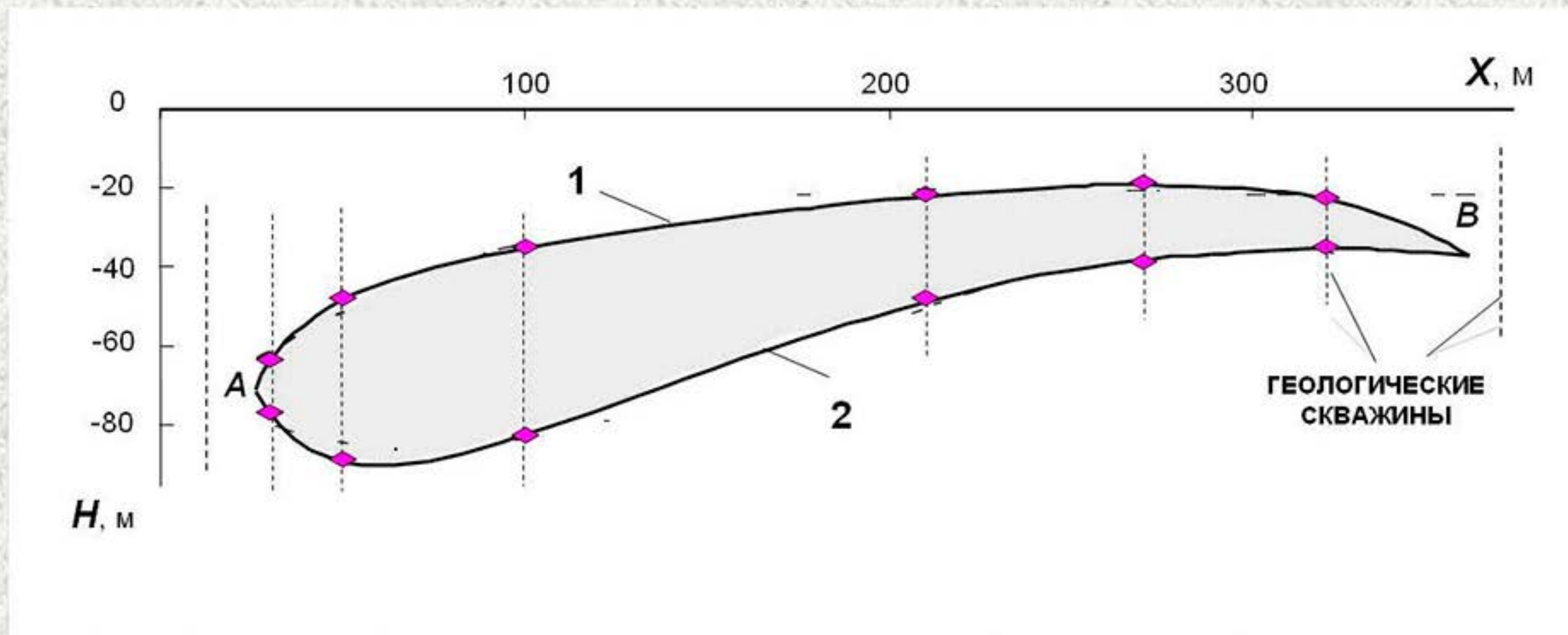
Тренд ППНР СК  
 типа АМ-Х( $\beta$ ,  $x_0$ ,  $\sigma$ ).  
 Методика расчета  
 МФЛИЗТ-3

$$J_{\gamma} = 19906653,3e^{-0,0158 E} + \frac{108978,38}{12,47 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(E-660,52)^2}{2 \cdot 12,47^2}} - 5,5587$$



# МОДЕЛЬ КОНТУРА ВЕРТИКАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ РУДНОГО ПЛАСТА

(ПОСТРОЕНА ПО ДАННЫМ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОПРОБОВАНИЯ  
ГОРНЫХ ПОРОД В СКВАЖИНАХ)



**1 – кровля пласта** - уравнение ПС СПС типа А-Х( $\mu_1, \mu_2, \mu_3$ )

$$H_1 = -2,8245 \cdot 10^{-20} X^{8,21085} - 14177,91 X^{-1,9558} + 3,3078 X^{0,4697} - 62,0368$$

$$R^2 = 0,9999;$$

**2 – подошва пласта** - уравнение ПС СПС типа А-Х( $\mu_1, \mu_2, \mu_3$ )

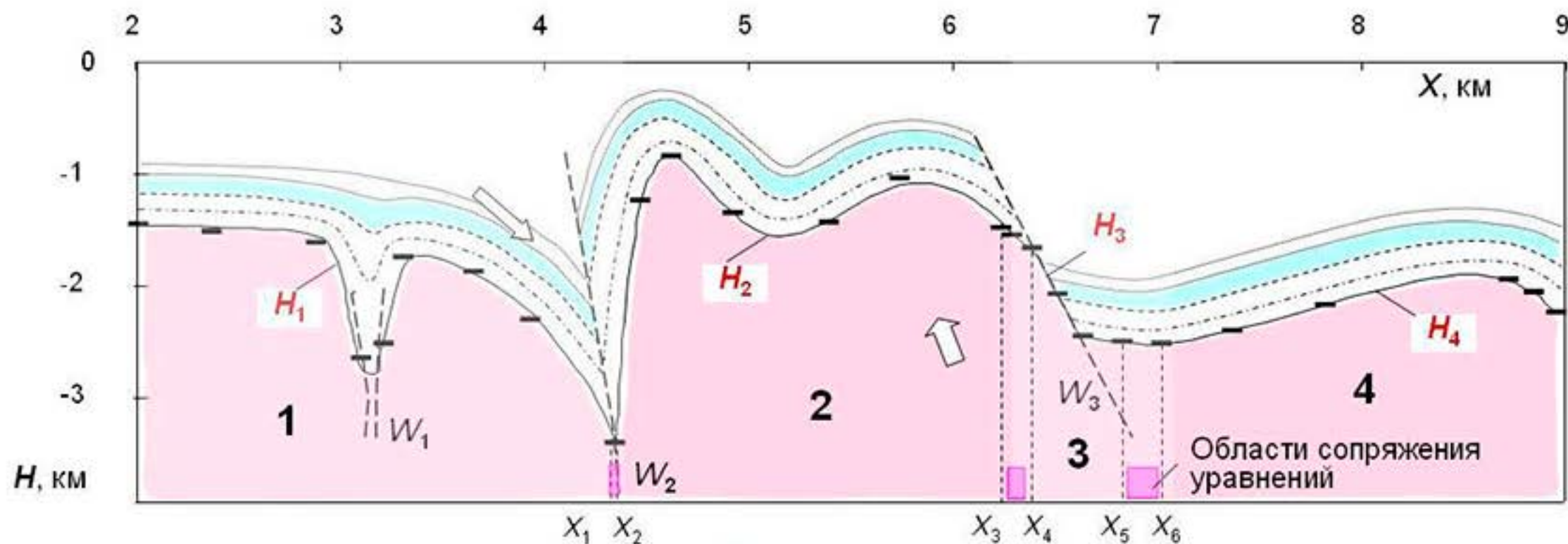
$$H_2 = 12,23 X^{0,66476} - 0,00326 X^{1,8512} - 8262,86 X^{0,01288} + 8440,42$$

$$R^2 = 0,9942.$$



# СПЛАЙНОВАЯ МОДЕЛЬ

## ЛИНИИ КОНТАКТА $H_1-H_2-H_3-H_4$ МАГМАТИЧЕСКИХ И ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД



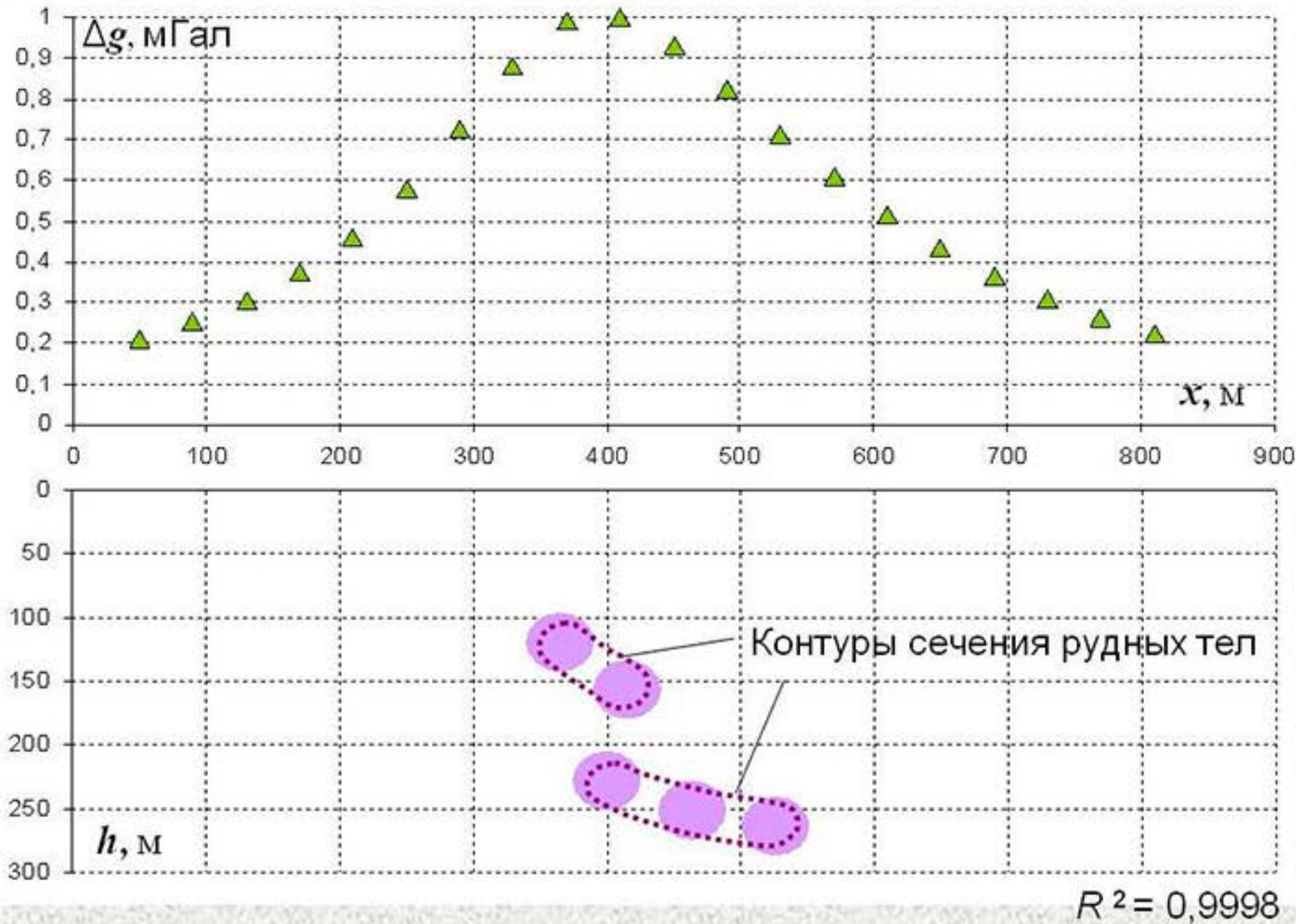
- Осадочные горные породы; 
  - Магматические интрузии; 
  - Линии тектонических сдвигов и разломов; 
  - Элементарные площадки сейсмического отражения; 
  - Направление избыточного тектонического давления.

Интервалы профиля, км	Оптимизированные уравнения ФСП интервальной регрессии	$R^2$
1- $[2, X_2]$	$H_1 = -0,00016 e^{2,1713 x} - \frac{0,2703}{0,087 \sqrt{2p}} e^{-\frac{(x-3,1277)^2}{2 \cdot 0,087^2}} - 1,4475$	0,9935
2- $[X_1, X_4]$	$H_2 = 21,0392 \left[ (X - 4,2867) 38,364^{4,2867 - X} \right]^{0,5671} + 28,4254 \left[ (X - 4,2001) 1,6998^{4,2001 - X} \right]^{4,9245} - 6,6396$	0,9903
3- $[X_3, X_6]$	$H_3 = \frac{0,6139}{1 + e^{30,9474 (X - 6,4942)}} - \frac{1,2489 (X - 6,4942)}{1 + e^{253,1646 (X - 6,4942)}} - \frac{0,1185 (X - 6,4942)}{1 + e^{-253,1646 (X - 6,4942)}} - 2,4586$	0,9954
4- $[X_5, 9]$	$H_4 = 1,7950421577985 \cdot 10^{82} \cdot X^{-100} - 7,3314 \cdot 10^{-25} \cdot X^{25,5143} + 7,9816 \cdot 10^{-7} \cdot X^{6,7135} - 2,8992$	0,9948



# РЕШЕНА ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ГРАВИТАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ ПРОТЯЖЕННЫХ РУДНЫХ ТЕЛ

ПО УТОЧНЕННЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ АНОМАЛИИ УСКОРЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ  $\Delta g$  НА ПРОФИЛЕ,  
РАСПОЛОЖЕННОМ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ ВКРЕСТ ИХ ПРОСТИРАНИЯ



**КОНТУРЫ СЕЧЕНИЯ  
РУДНЫХ ТЕЛ  
АПРОКСИМИРОВАНЫ  
МОДЕЛЮ, СОСТОЯЩЕЙ  
ИЗ ПЯТИ ПРОТЯЖЕННЫХ  
ЦИЛИНДРОВ**

$$\Delta g = A \sum_{i=1}^{i=5} \frac{h_i}{(x - x_i)^2 + h_i^2}$$

$$A = 2G\lambda$$

**ИЗБЫТОЧНАЯ ПЛОТНОСТЬ  
1800 КГ/М<sup>3</sup>**

Методика расчета  
модели:  
МФЛИ5Т-5  
МФЛИ11Т-2

$$\Delta g = 39,8854 \left[ \frac{119}{(x - 365)^2 + 119^2} + \frac{156,5}{(x - 416)^2 + 156,5^2} + \frac{228}{(x - 401)^2 + 228^2} + \frac{252}{(x - 464)^2 + 252^2} + \frac{264}{(x - 526)^2 + 264^2} \right]$$



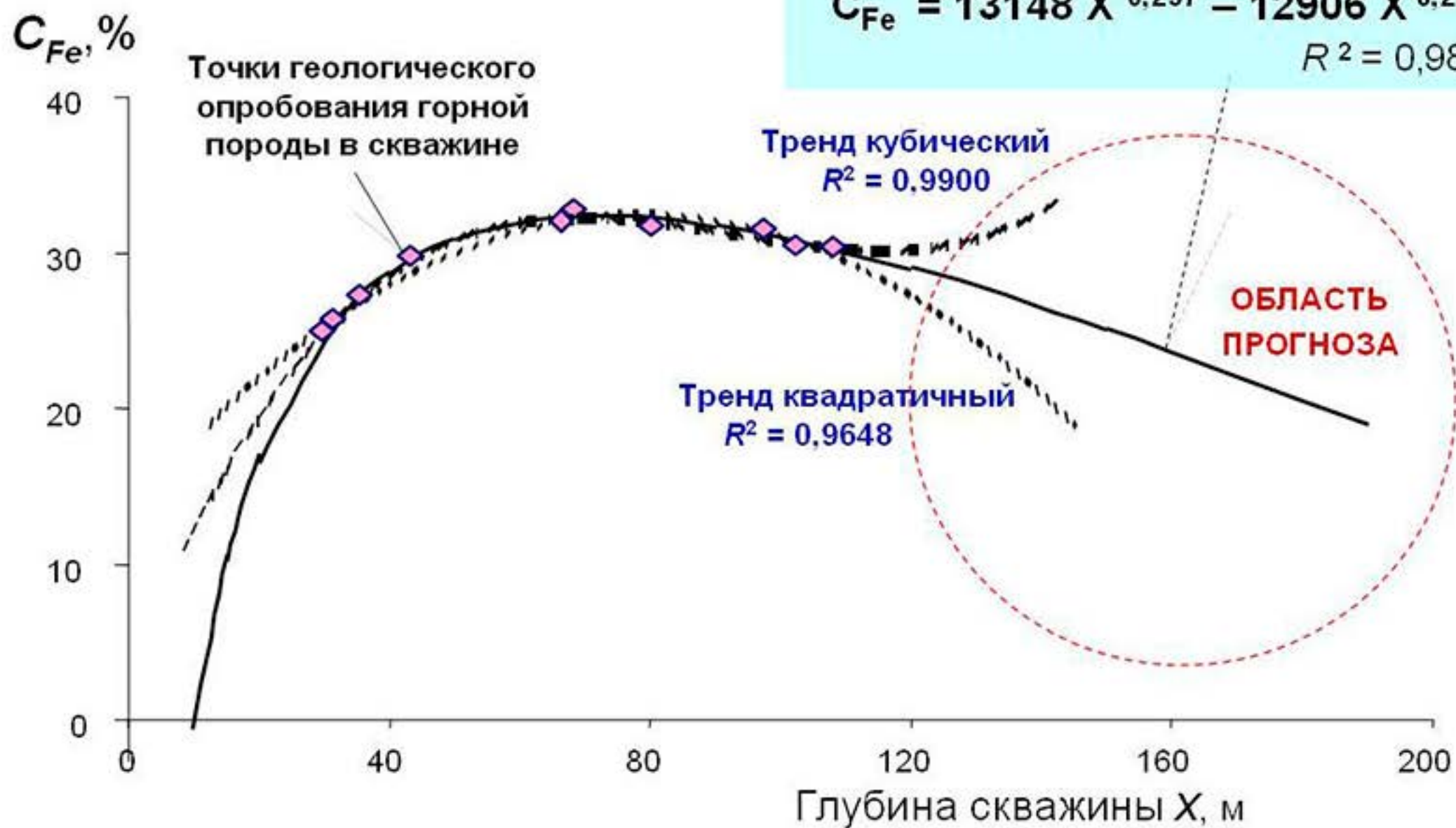
# ПРОГНОЗ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА $C_{Fe}$ В ГОРНОЙ ПОРОДЕ, РАСПОЛОЖЕННОЙ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ДАЛЬНЕЙШЕГО БУРЕНИЯ СКВАЖИНЫ ДО ГЛУБИНЫ 200 м.

УЧТЕНО ДЕЙСТВИЕ ДВУХ ФАКТОРОВ

- 1 – ГИДРОТЕРМАЛЬНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ С ГЛУБИНЫ (СТЕПЕННАЯ ФУНКЦИЯ);
- 2 – ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ РУДЫ В ЗОНЕ ОКИСЛЕНИЯ (СТЕПЕННАЯ ФУНКЦИЯ)

Тренд ПС СПС типа  $A-X(\mu_1, \mu_2)$

$$C_{Fe} = 13148 X^{0,257} - 12906 X^{0,259} - 315$$
$$R^2 = 0,9898$$



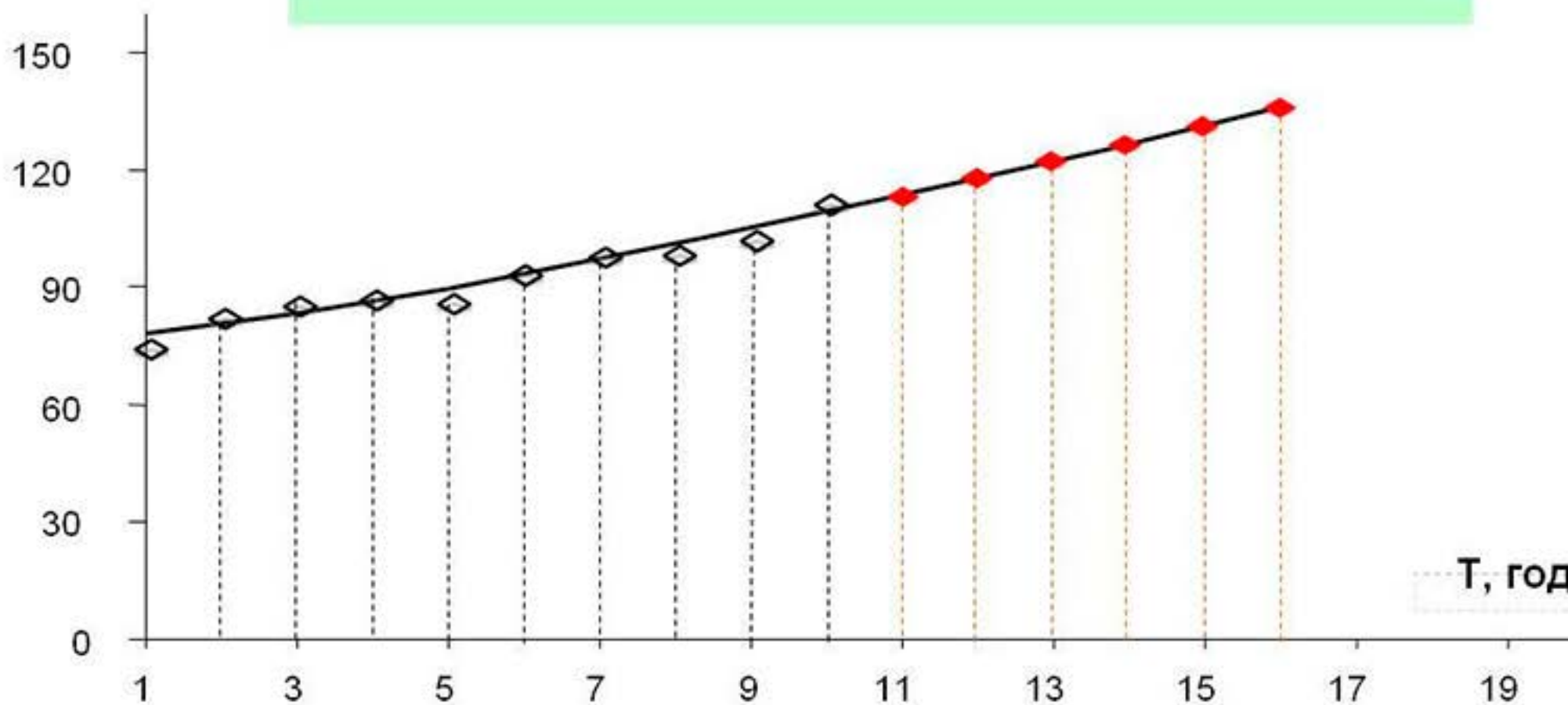


# ПРОГНОЗ СРЕДНЕГОДОВОЙ МОЩНОСТИ $M$ ДОБЫЧИ РУДЫ НА ГОРНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Тренд ПС СПС типа  $X(\mu)$

$$M = 1,7631 T^{1,272} + 76,2336$$
$$R^2 = 0,9496$$

$M$ , тыс. т



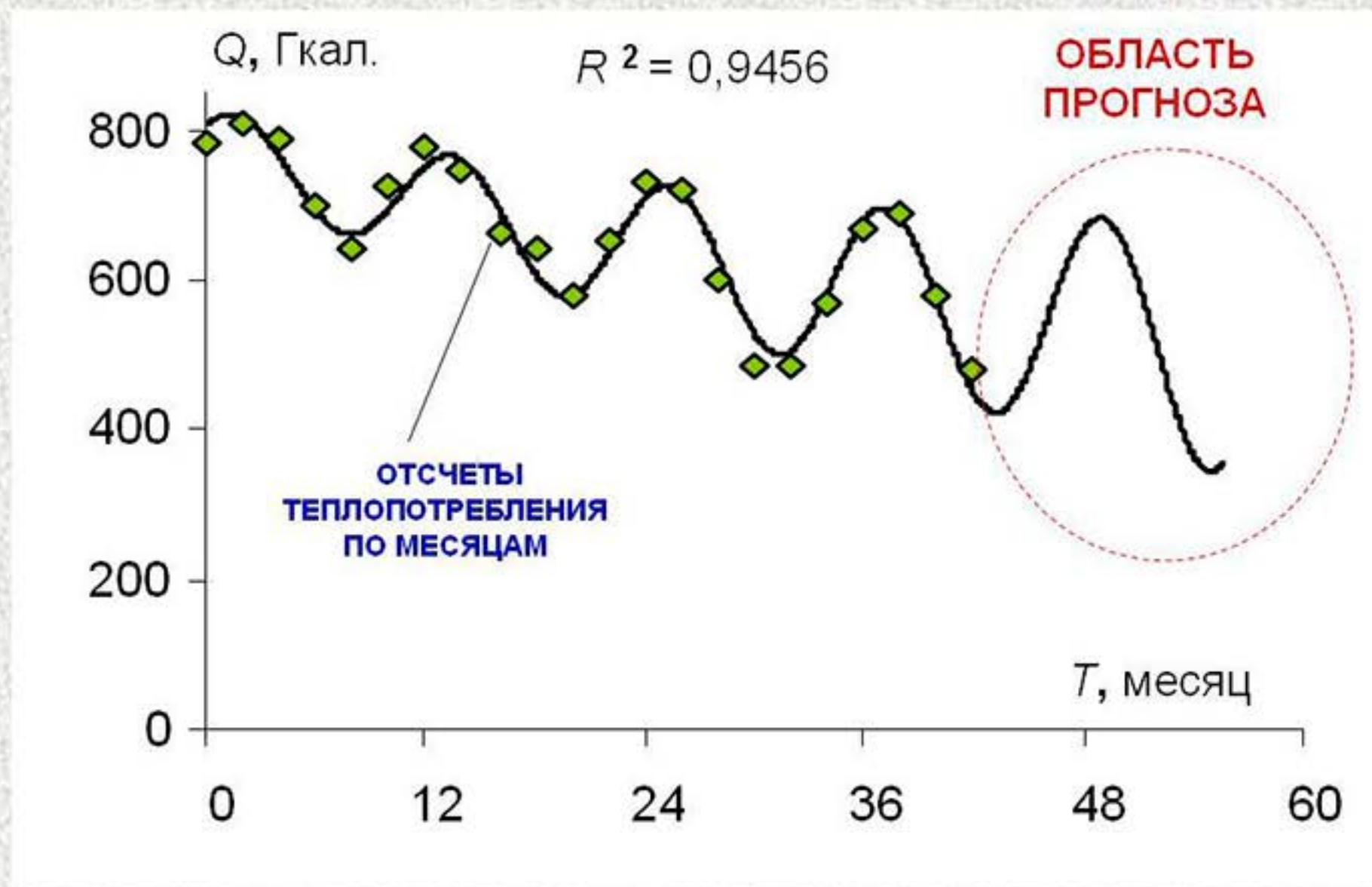
T, год

◇ - Добыча руды за прошедший период

◆ - Прогноз добычи руды



# УСТАНОВЛЕНА ЗАКОНОМЕРНОСТЬ И ДАН ПРОГНОЗ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ $Q$ НА УЧАСТКЕ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ



УЧТЕНО ДЕЙСТВИЕ ТРЕХ  
ФАКТОРОВ

1. УМЕНЬШЕНИЕ  
СРЕДНЕГОДОВОВОГО  
ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ
2. ПЕРИОДИЧНОСТЬ  
СЕЗОННЫХ  
КОЛЕБАНИЙ  $Q$
3. УВЕЛИЧЕНИЕ  
АМПЛИТУДЫ  
КОЛЕБАНИЙ  $Q$

Тренд ППАСin типа  $AM-X(\omega, \varphi, \beta_n, \beta_a)$

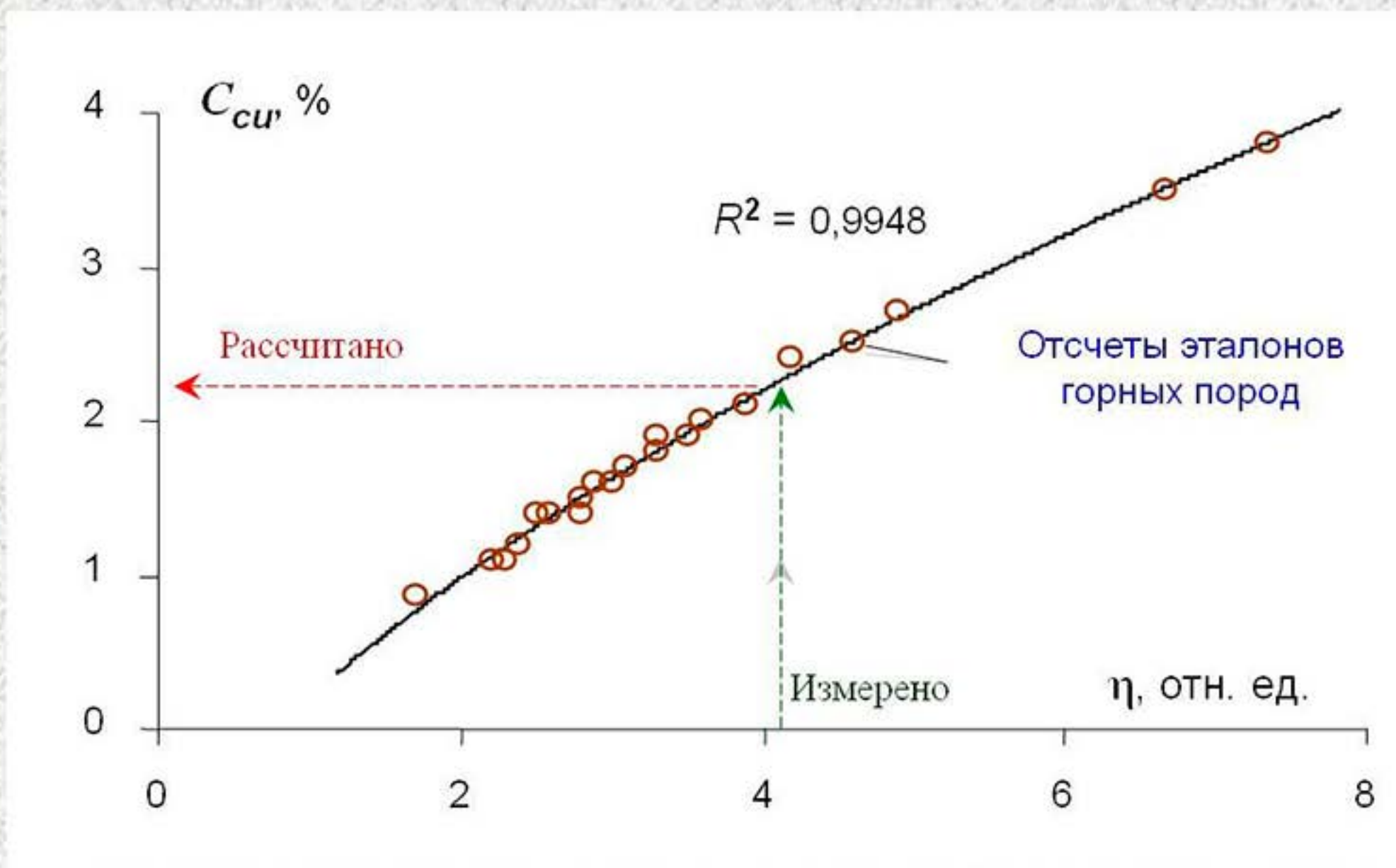
$$Q = 220,09 + 551,4191e^{-0,0116 \cdot T} + 55,1744e^{0,0203 \cdot T} \sin(0,5309 \cdot T + 0,7226)$$



ПОСТРОЕНО ГРАДУИРОВОЧНОЕ УРАВНЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА СОДЕРЖАНИЯ МЕДИ  $C_{cu}$  В ГОРНЫХ ПОРОДАХ ПО ИЗМЕРЕННОМУ СПЕКТРАЛЬНОМУ ОТНОШЕНИЮ  $\eta$  ИНТЕНСИВНОСТИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МЕДИ К ИНТЕНСИВНОСТИ ОДНОКРАТНО РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

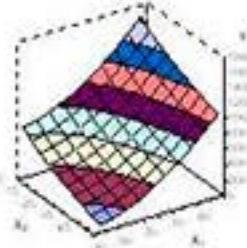
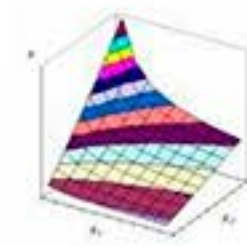
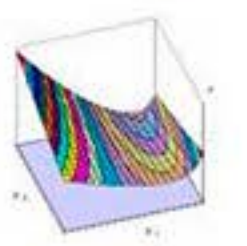
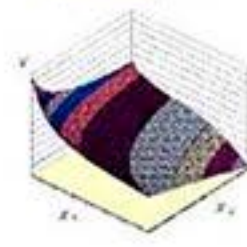
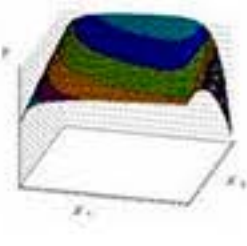
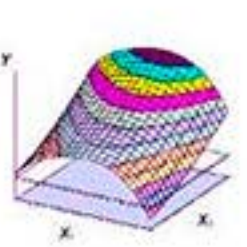
Тренд ПС СПС типа X( $\mu$ )

$$C_{cu} = - 1,2123 + 1,4144 \cdot \eta^{0,6357}$$



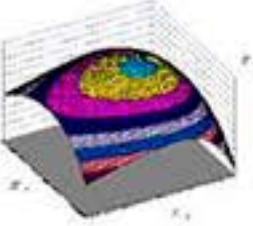
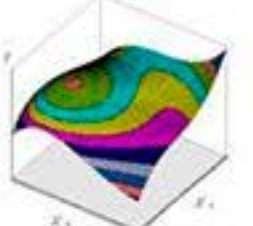
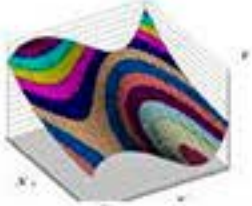
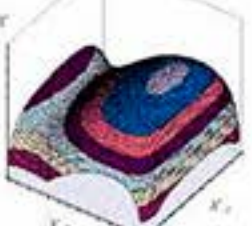
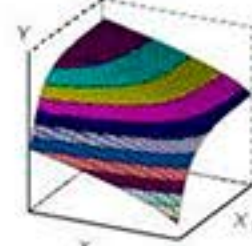
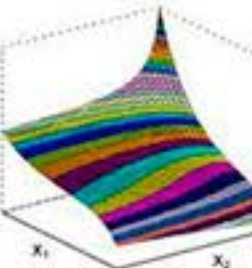


# СОЗДАНЫ СТЕНДЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА И ПОСТРОЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ФСП ТРЕХМЕРНОЙ РЕГРЕССИИ (В ФОРМАТЕ *MICROSOFT EXCEL*)

ТИП УРАВНЕНИЯ	ФОРМУЛА УРАВНЕНИЯ	МЕТОДИКА РАСЧЕТА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ	ХАРАКТЕРНЫЕ ГРАФИКИ
<b>ПОЛИНОМЫ СТЕПЕННЫЕ (ПС СПС- 2)</b>			
A(1, 1)	$A_1 X_1^{\mu_1} + A_2 X_2^{\mu_2} + B$	МОЛИ5Т-1	
M	$A X_1^{\mu_{1M}} \cdot X_2^{\mu_{2M}} + B$	МЦЛИ5Т-1	
A(1, 1)M	$A_1 X_1^{\mu_1} + A_2 X_2^{\mu_2} + A_3 X_1^{\mu_{1M}} \cdot X_2^{\mu_{2M}} + B$	МОЛИ5Т-1 МЦЛИ5Т-1	
2M	$A_1 X_1^{\mu_{11M}} \cdot X_2^{\mu_{21M}} + A_2 X_1^{\mu_{12M}} \cdot X_2^{\mu_{22M}} + B$	МЦЛИ5Т-2	
A(1,0)2M	$A_1 X_1^{\mu_1} + A_2 X_1^{\mu_{11M}} \cdot X_2^{\mu_{21M}} + A_3 X_1^{\mu_{12M}} \cdot X_2^{\mu_{22M}} + B$	МЦЛИ5Т-2; МОЛИ3Т-1	
A (2, 1)	$A_1 X_1^{\mu_{11}} + A_2 X_1^{\mu_{12}} + A_3 X_2^{\mu_2} + B$	МОЛИ5Т-1; МОЛИ3Т-1	

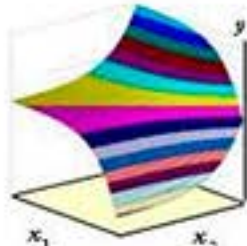

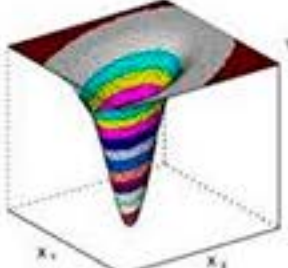
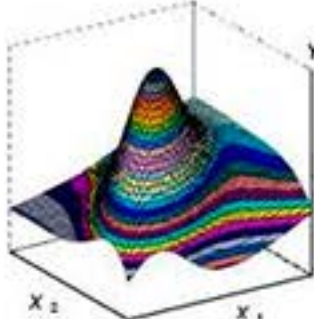


# РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ФСП ТРЕХМЕРНОЙ РЕГРЕССИИ

ТИП УРАВНЕНИЯ	ФОРМУЛА УРАВНЕНИЯ	МЕТОДИКА РАСЧЕТА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ	ХАРАКТЕРНЫЕ ГРАФИКИ
A(2, 2)	$A_1 X_1^{\mu_{11}} + A_2 X_1^{\mu_{12}} + A_3 X_2^{\mu_{21}} + A_4 X_2^{\mu_{22}} + B$	МОЛИ5Т-2	
A(2, 2) M	$A_1 X_1^{\mu_{11}} + A_2 X_1^{\mu_{12}} + A_3 X_2^{\mu_{21}} + A_4 X_2^{\mu_{22}} + A_5 X_1^{\mu_{1M}} \cdot X_2^{\mu_{2M}} + B$	МОЛИ5Т-2 МЦЛИ5Т-1	
A(3, 1);	$A_1 X_1^{\mu_{11}} + A_2 X_1^{\mu_{12}} + A_3 X_1^{\mu_{13}} + A_4 X_2^{\mu_2} + B$	МОЛИ5Т-1; МОЛИ3Т-2	
A(3, 2)	$A_1 X_1^{\mu_{11}} + A_2 X_1^{\mu_{12}} + A_3 X_1^{\mu_{13}} + A_4 X_2^{\mu_{21}} + A_5 X_2^{\mu_{22}} + B$	МОЛИ5Т-2; МОЛИ3Т-1	
<b>ПОЛИНОМЫ СТЕПЕННЫХ И ПОКАЗАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ( ПСП СК)</b>			
A-X1(μ)X2(β)	$A_1 X_1^{\mu} + A_2 e^{\beta X_2} + B$	МОЛИ5Т-1:	
A-X1(μ, μ <sup>M</sup> ) X2(β, β <sup>M</sup> )	$A_1 X_1^{\mu} + A_2 e^{\beta X_2} + X_1^{\mu_M} \cdot e^{\beta_M X_2} + B$	МОЛИ5Т-1; МЦЛИ5Т-1:	



# РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ФСП ТРЕХМЕРНОЙ РЕГРЕССИИ

ТИП УРАВНЕНИЯ	ФОРМУЛА УРАВНЕНИЯ	МЕТОДИКА РАСЧЕТА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ	ХАРАКТЕРНЫЕ ГРАФИКИ
$A \cdot X_1^{\beta_1} \cdot X_2^{\beta_2}$	<p style="text-align: center;"><b>ПОЛИНОМ ПОКАЗАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ (ПП СК-2)</b></p> $A_1 a^{\beta_1 x_1} + A_2 a^{\beta_2 x_2} + B$	МОЛИ5Т-1	
$M \cdot X_1(\bar{x}_1, \sigma_1)$ $X_2(\bar{x}_2, \sigma_2)$	<p style="text-align: center;"><b>НОРМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ С САМООПРЕДЕЛЯЮЩИМИСЯ КОЭФФИЦИЕНТАМИ (НР СК-2),</b></p> $\frac{A}{2\pi\sigma_1\sigma_2} e^{-\frac{(x_1 - \bar{x}_1)^2}{2\sigma_1^2} - \frac{(x_2 - \bar{x}_2)^2}{2\sigma_2^2}}$	МФЛИ5Т-2	
$M \cdot X_1(\bar{x}_1, \sigma_1, \varphi_1)$ $X_2(\bar{x}_2, \sigma_2, \varphi_2)$	$\frac{A}{2\pi\sigma_1\sigma_2} e^{-\frac{[(x_1 - \bar{x}_1)\cos\varphi + (x_2 - \bar{x}_2)\sin\varphi]^2}{2\sigma_1^2} - \frac{[(x_1 - \bar{x}_1)\sin\varphi - (x_2 - \bar{x}_2)\cos\varphi]^2}{2\sigma_2^2}} \times e^{-\dots} + B$	МФЛИ5Т-3	
$AM \cdot X_1(\bar{x}_1, \beta_1, \sigma_1, \varphi_1)$ $X_2(\bar{x}_2, \beta_2, \sigma_2, \varphi_2)$	<p style="text-align: center;"><b>ПОЛИНОМ ФУНКЦИЙ ПОКАЗАТЕЛЬНЫХ И НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ С САМООПРЕДЕЛЯЮЩИМИСЯ КОЭФФИЦИЕНТАМИ (ППНР СК-2),</b></p> $\frac{A}{2\pi\sigma_1\sigma_2} e^{-\frac{[(x_1 - \bar{x}_1)\cos\varphi + (x_2 - \bar{x}_2)\sin\varphi]^2}{2\sigma_1^2} - \frac{[(x_1 - \bar{x}_1)\sin\varphi - (x_2 - \bar{x}_2)\cos\varphi]^2}{2\sigma_2^2}} \times e^{\beta_1 x_1 + \beta_2 x_2} + B$	МОЛИ5Т-1; МОЛИ3Т-2	



# ПРИМЕРЫ ТРЕХМЕРНОЙ РЕГРЕССИИ ФСП

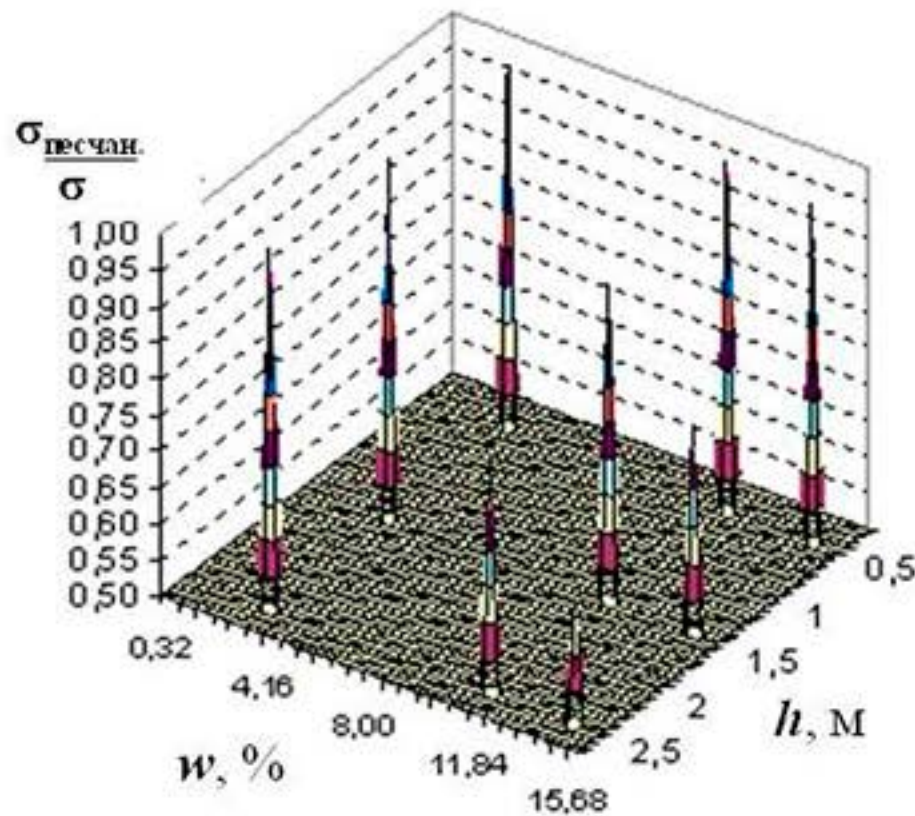
ВЫЯВЛЕН КОНКРЕТНЫЙ МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ВИД  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ  
ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

$\sigma_{\text{ПЕСЧАН}} / \sigma$  ЦЕЛИКА ПОДЗЕМНОЙ ГОРНОЙ

ВЫРАБОТКИ ОТ МОЩНОСТИ  $h$  И

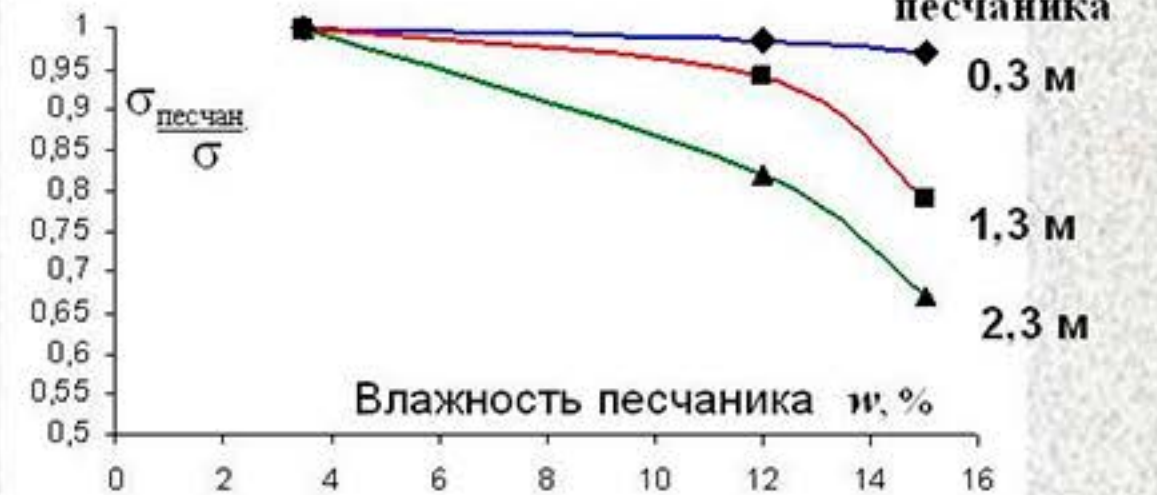
ВЛАЖНОСТИ  $W$  СОДЕРЖАЩЕГОСЯ В ЦЕЛИКЕ  
ПРОСЛОЯ ПЕСЧАНИКА

ТРЕХМЕРНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ  
ДАНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА

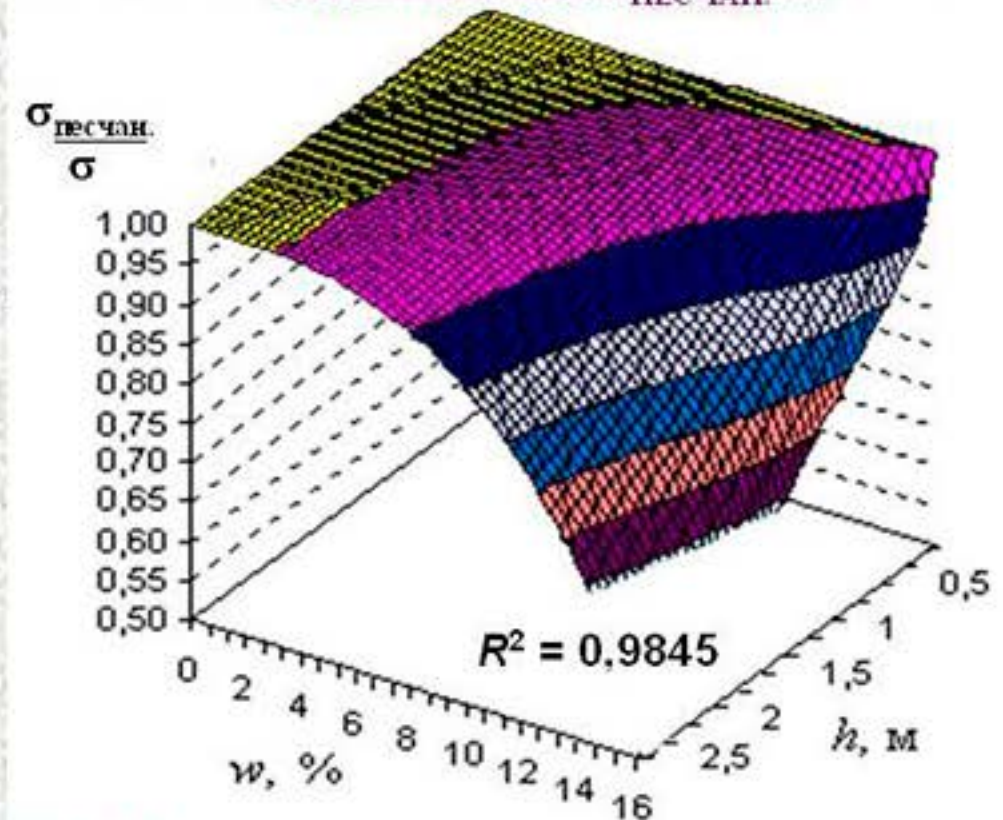


РЕГРЕССИЯ

ДВУМЕРНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ  
ДАНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА



ПОВЕРХНОСТЬ РЕГРЕССИИ  
ОТНОШЕНИЯ  $\sigma_{\text{ПЕСЧАН}} / \sigma$



Тренд ПС СПС-2 типа А(1.1)М

$$\frac{\sigma_{\text{песчаник}}}{\sigma} = 0,000301 W^{-2,1343} - 2,3267 \cdot 10^{-38} h^{30,36} - 4,039 \cdot 10^{-5} W^{3,0016} \cdot h^{1,0657} + 1,0043$$



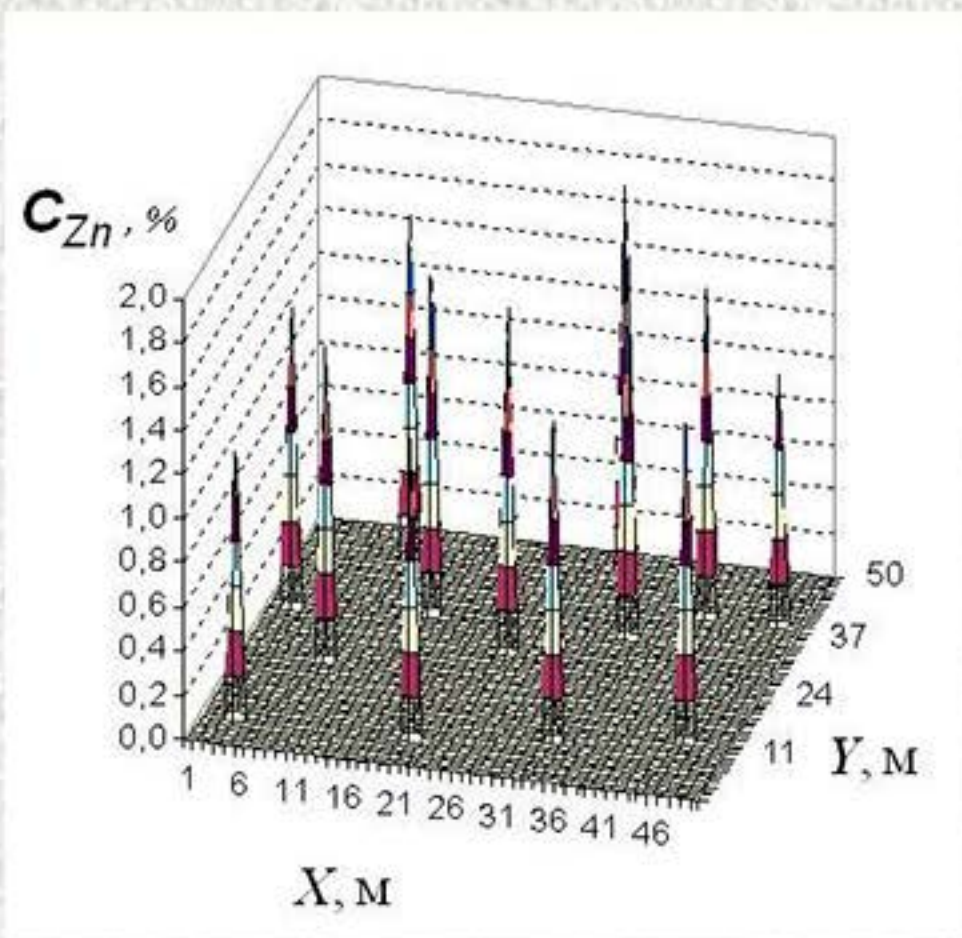
# СОЗДАНА МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛОЩАДНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЦИНКА $C_{Zn}$ НА РУДНОМ ГОРИЗОНТЕ ПОДЗЕМНОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

(ПО ДАННЫМ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОПРОБОВАНИЯ РУДЫ)

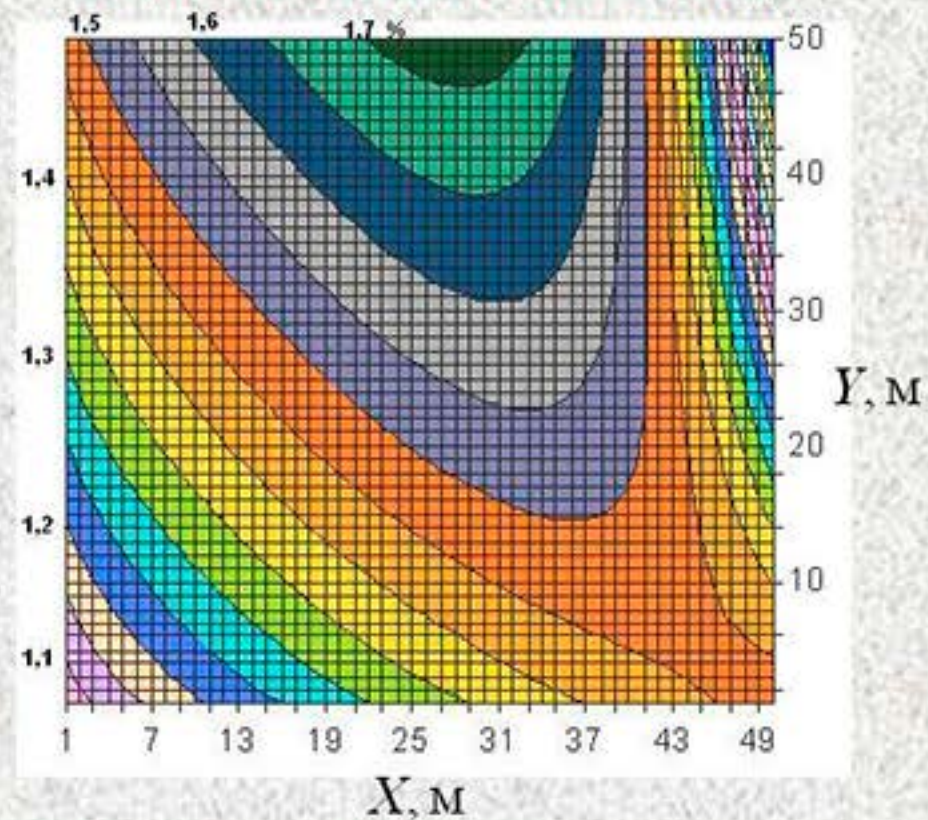
Тренд ПС СПС-2 типа А(1,1)М

$$C_{Zn} = 0,9953 + 0,045 X^{0,5976} + 0,0178 Y^{0,8127} - 2,79 \cdot 10^{-13} X^{6,2693} \cdot Y^{1,15898}$$

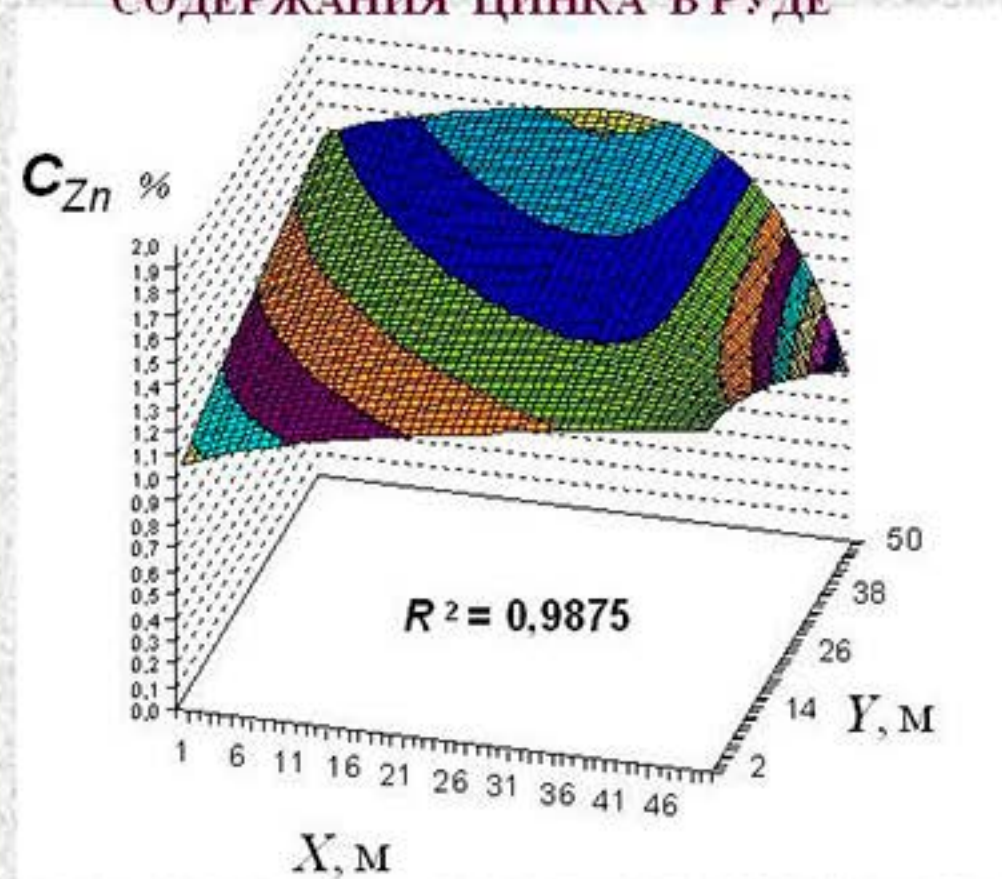
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ  
ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОПРОБОВАНИЯ РУДЫ  
НА СОДЕРЖАНИЕ ЦИНКА



## ГОРИЗОНТНЫЙ ПЛАН СОДЕРЖАНИЯ ЦИНКА В РУДЕ



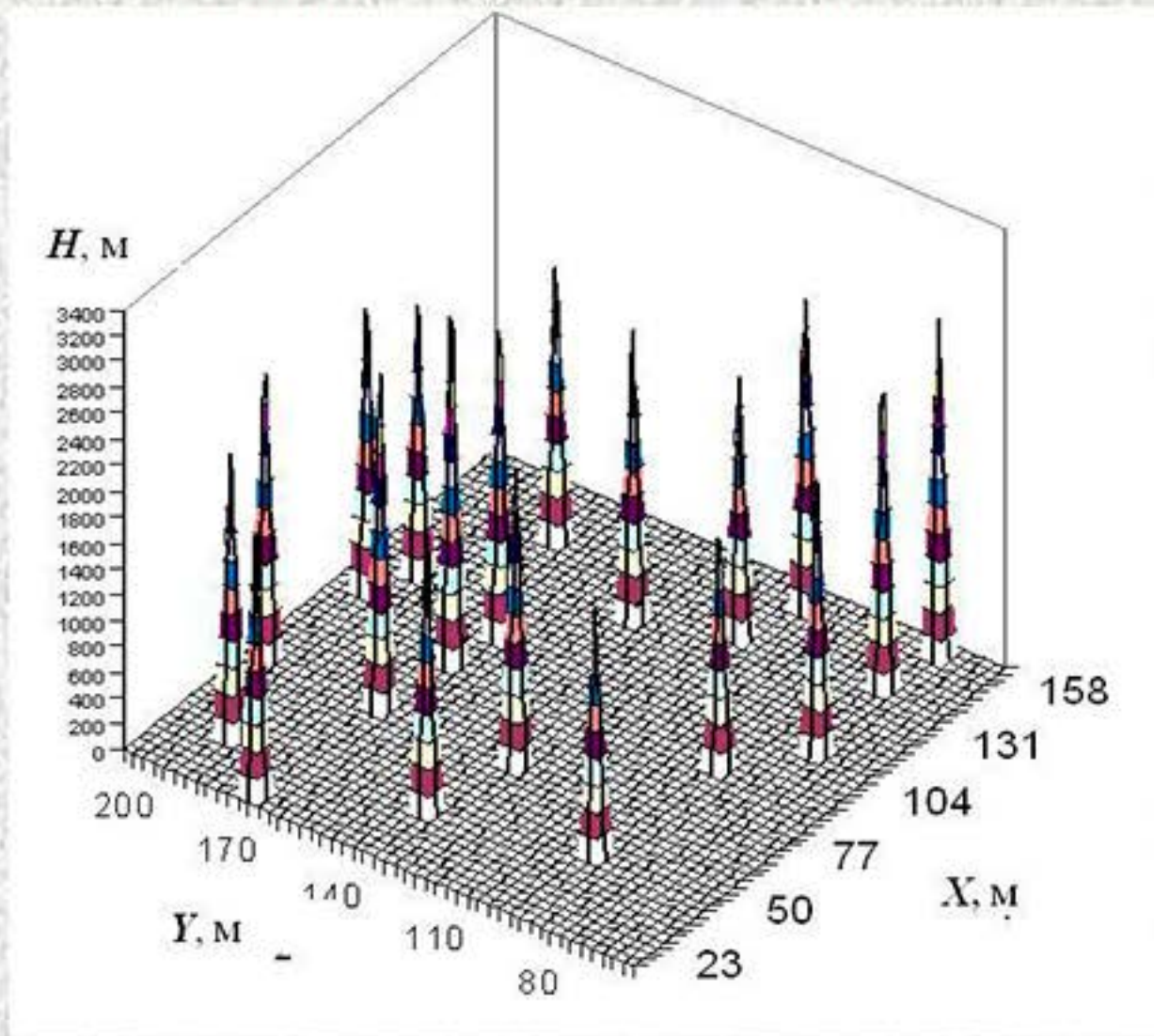
## ПОВЕРХНОСТЬ РЕГРЕССИИ СОДЕРЖАНИЯ ЦИНКА В РУДЕ



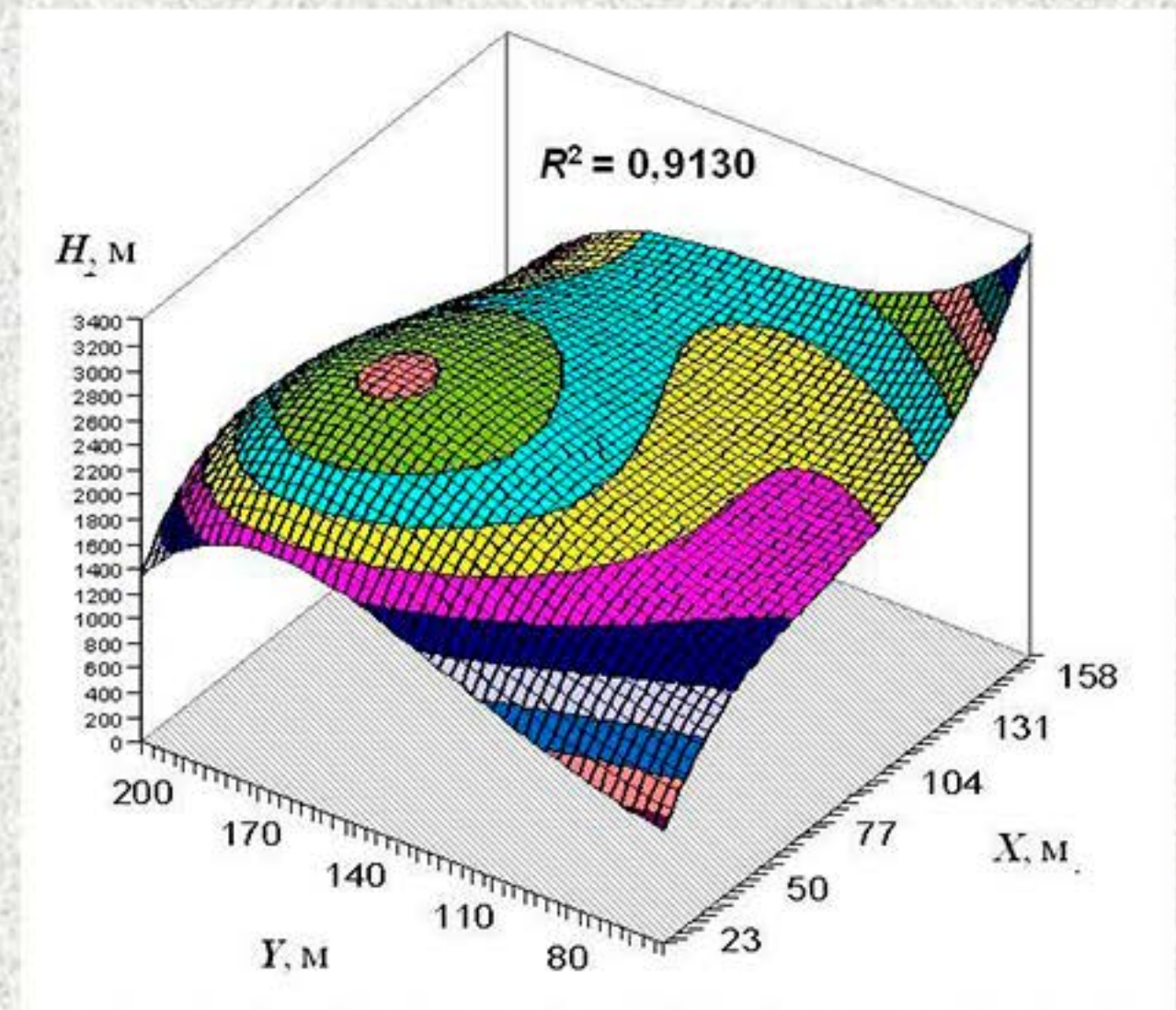


# МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА ХОЛМИСТОГО УЧАСТКА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ОТМЕТОК  
ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ  
ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ



РЕГРЕССИОННЫЙ ГРАФИК  
ПОВЕРХНОСТИ УЧАСТКА ЗЕМЛИ



Тренд ПС СПС типа А(2, 2)М

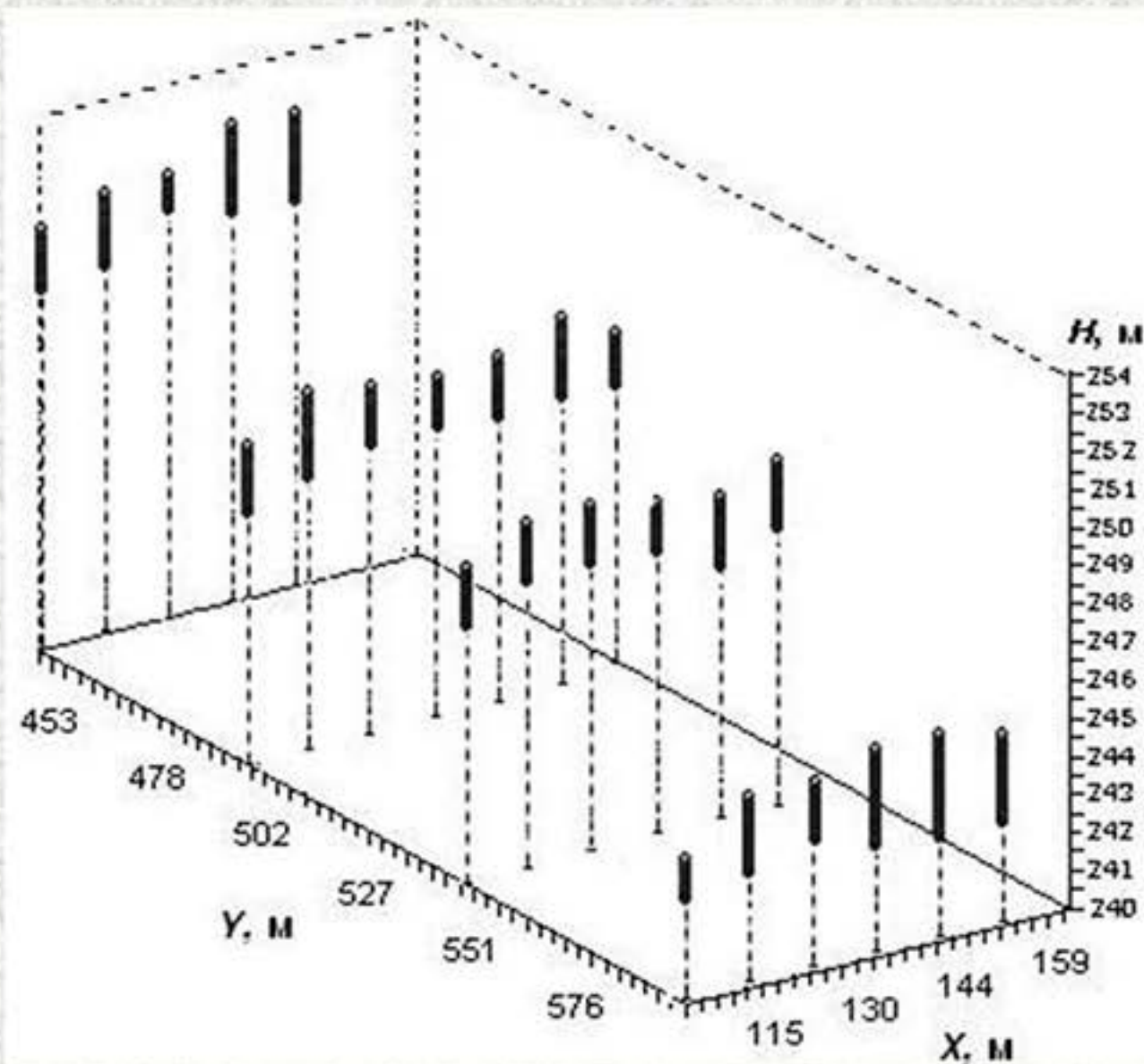
$$H = -0,4276 X^{1,8988} + 864,7121 X^{0,3961} - 5,2181 \cdot 10^{-10} Y^{5,5359} + 0,0052 Y^{2,5267} + 0,0041 X^{3,0626} \cdot Y^{-0,3888} - 2030,9286$$



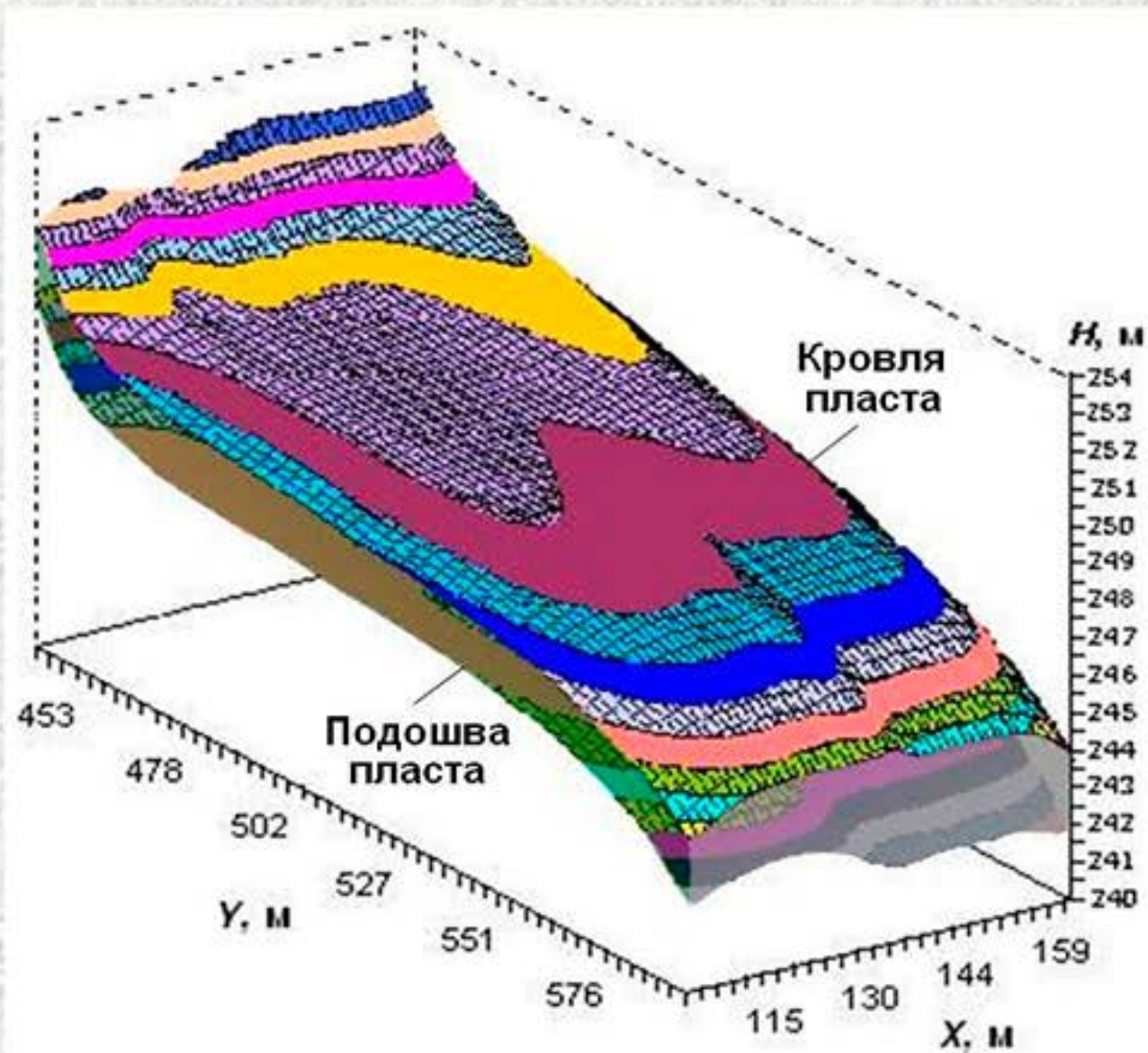
# СОЗДАНА РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОДУКТИВНОГО ПЛАСТА РОССЫПНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА

( ПО ДАННЫМ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОПРОБОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД  
В БУРОВЫХ СКВАЖИНАХ)

ИНТЕРВАЛЫ ПЛАСТА, ПОДСЕЧЕННЫЕ  
БУРОВЫМИ СКВАЖИНАМИ

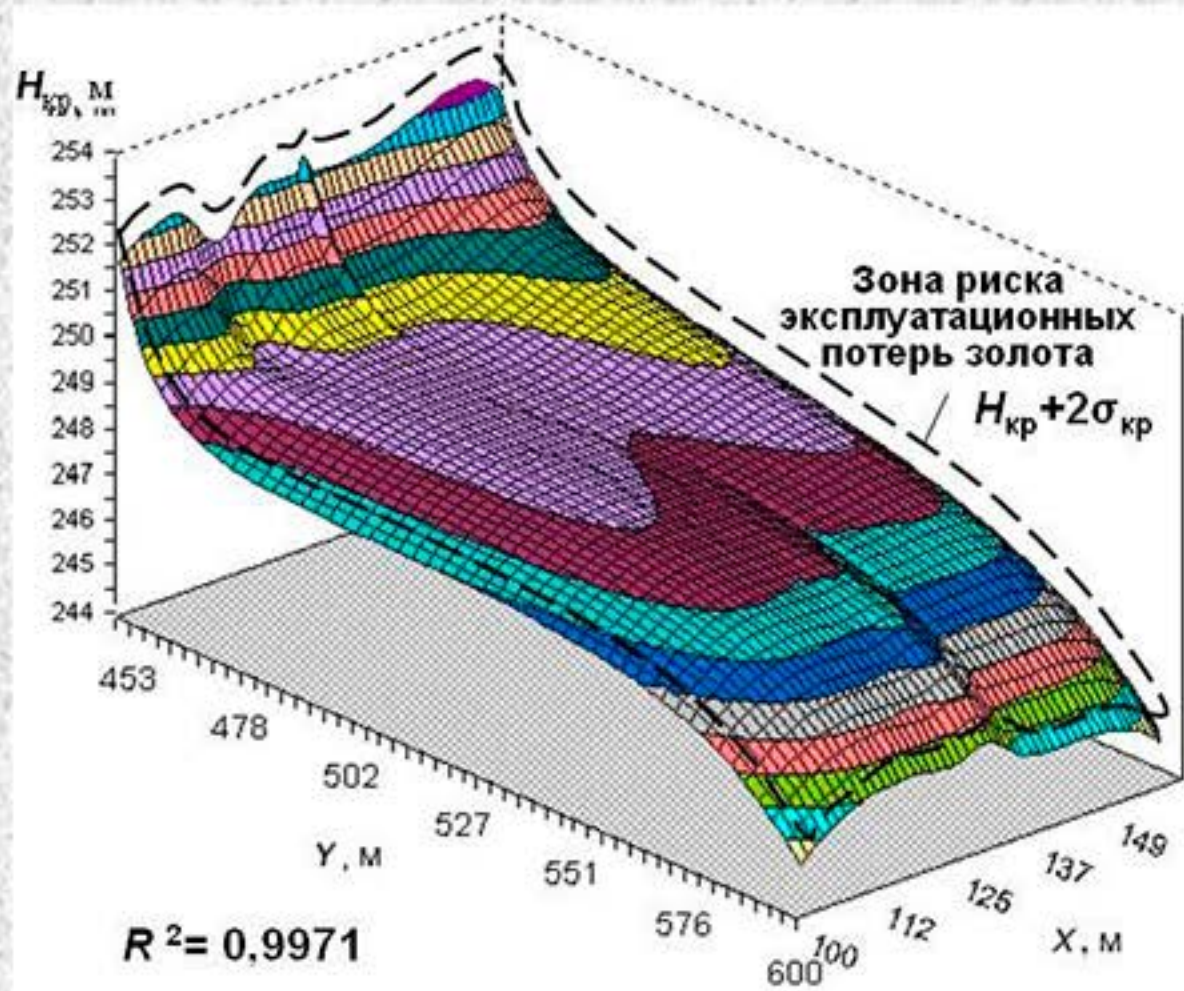


ВИД МОДЕЛИ ПЛАСТА





ВИД 3D



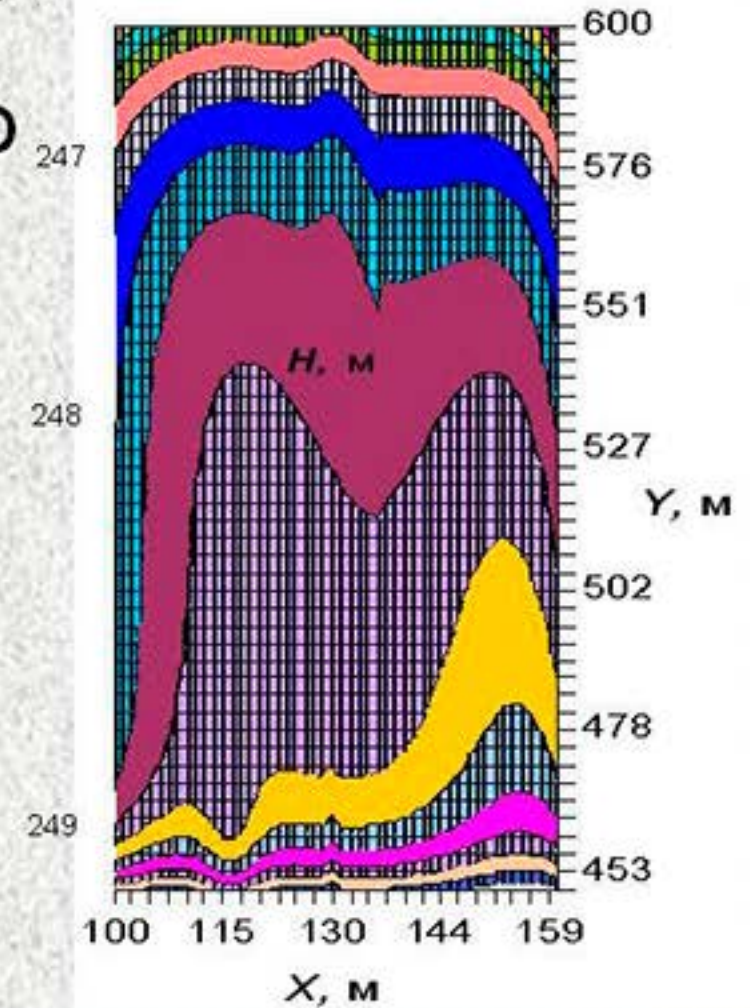
## ВЕРХНЯЯ ГРАНИЦА (КРОВЛЯ) ПРОДУКТИВНОГО ПЛАСТА

$$R^2 = 0,9932$$

$$\sigma_{кр} = 0,14 \text{ м}$$

Тренд ПС СПС-2  
типа А(3,1)2М,  
НР СК-2 типа  
М- $X_1(X_{1c}, \sigma_1)$   
 $X_2(X_{2c}, \sigma_2)$

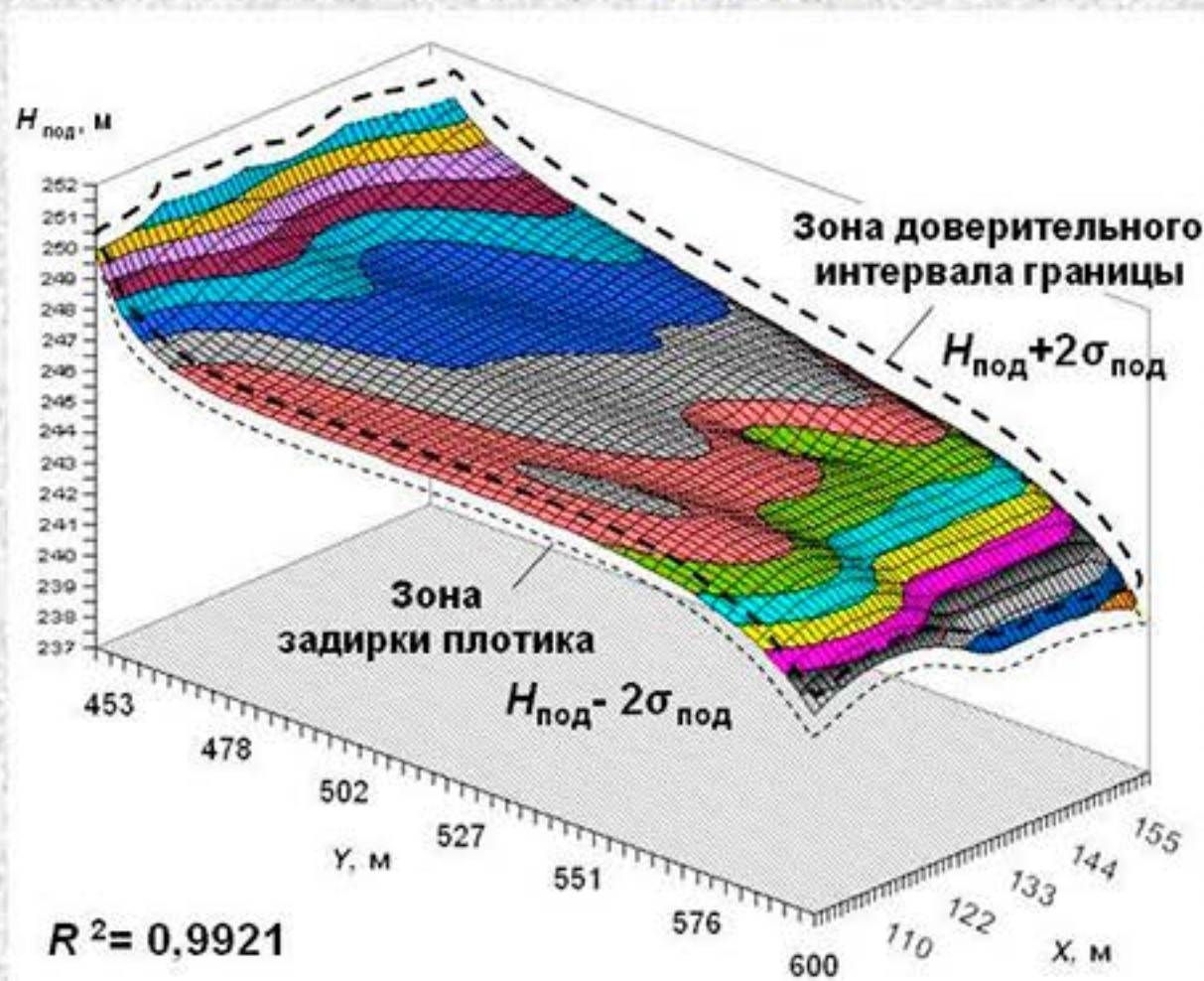
ПЛАН



$$\begin{aligned}
 H_{кр} = & 232,87 + 1,298 \cdot 10^{-13} x^{7,329} + 1,8324 \cdot 10^{-7} x^{4,543} - 1,2384 \cdot 10^{-8} x^{5,1531} - \\
 & - 3,021 \cdot 10^{-77} y^{27,71} - 1,522 \cdot 10^{-16} x^{8,496} y^{0,0121} + 4,362 \cdot 10^{152} x^{-1,011} y^{-56,557} + \\
 & + \frac{170}{2\pi \cdot 5 \cdot 12} e^{-\frac{(x-130)^2}{2 \cdot 5^2} - \frac{(y-449)^2}{2 \cdot 12^2}} + \frac{200}{2\pi \cdot 2,5 \cdot 28} e^{-\frac{(x-130)^2}{2 \cdot 2,5^2} - \frac{(y-600)^2}{2 \cdot 28^2}} - \\
 & - \frac{250}{2\pi \cdot 3 \cdot 12} e^{-\frac{(x-115,9)^2}{2 \cdot 3^2} - \frac{(y-450)^2}{2 \cdot 12^2}} - \frac{200}{2\pi \cdot 2,5 \cdot 22} e^{-\frac{(x-140)^2}{2 \cdot 2,5^2} - \frac{(y-560)^2}{2 \cdot 22^2}}
 \end{aligned}$$



ВИД 3D



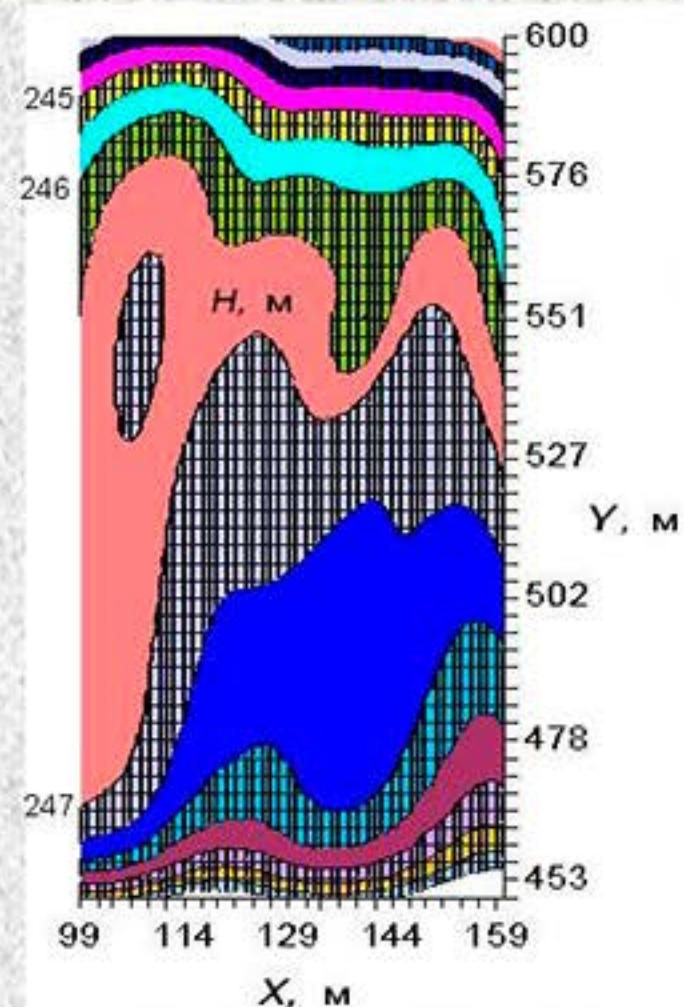
**НИЖНЯЯ ГРАНИЦА  
(ПОДОШВА)  
ПРОДУКТИВНОГО  
ПЛАСТА**

$$R^2 = 0,9914$$

$$\sigma_{\text{под}} = 0,18 \text{ м}$$

Тренд ПС СПС-2  
типа А(3,1)2М,  
НР СК-2 типа  
М- $X_1(X_{1c}, \sigma_1, \varphi_1)$   
 $X_2(X_{2c}, \sigma_2, \varphi_2)$

ПЛАН



$$\begin{aligned}
 H_{\text{поч}} = & 1,162 \cdot 10^{-14} x^{7,829} + 1,574 \cdot 10^{-7} x^{4,543} - 1,417 \cdot 10^{-8} x^{5,0796} - 1,2 \cdot 10^{-100} y^{36,14} - \\
 & - 3,46 \cdot 10^{-16} x^{8,439} y^{0,0113} + 4,07 \cdot 10^{152} x^{-1,012} y^{-56,557} - \frac{6,53}{\sqrt{2\pi} \cdot 5} e^{-\frac{[x - (4,31 \cdot 10^{-24} y^{8,93} + 903,18)]^2}{2 \cdot 5^2}} - \\
 & - \frac{127}{2\pi \cdot 8,2 \cdot 3} e^{-\frac{[(x - 139,8) \cos 1,298 + (y - 549,5) \sin 1,298]^2}{2 \cdot 8,2^2}} - \frac{[-(y - 549,5) \cos 1,298 + (x - 139,8) \sin 1,298]^2}{2 \cdot 3^2} + \\
 & + \frac{3000}{2\pi \cdot 185 \cdot 6} e^{-\frac{[(x - 138) \cos 1,298 + (y - 514) \sin 1,298]^2}{2 \cdot 185^2}} - \frac{[-(y - 514) \cos 1,298 + (x - 138) \sin 1,298]^2}{2 \cdot 6^2} + 234,33
 \end{aligned}$$



## ПРИМЕР ЧЕТЫРЕХМЕРНОЙ РЕГРЕССИИ ФСП

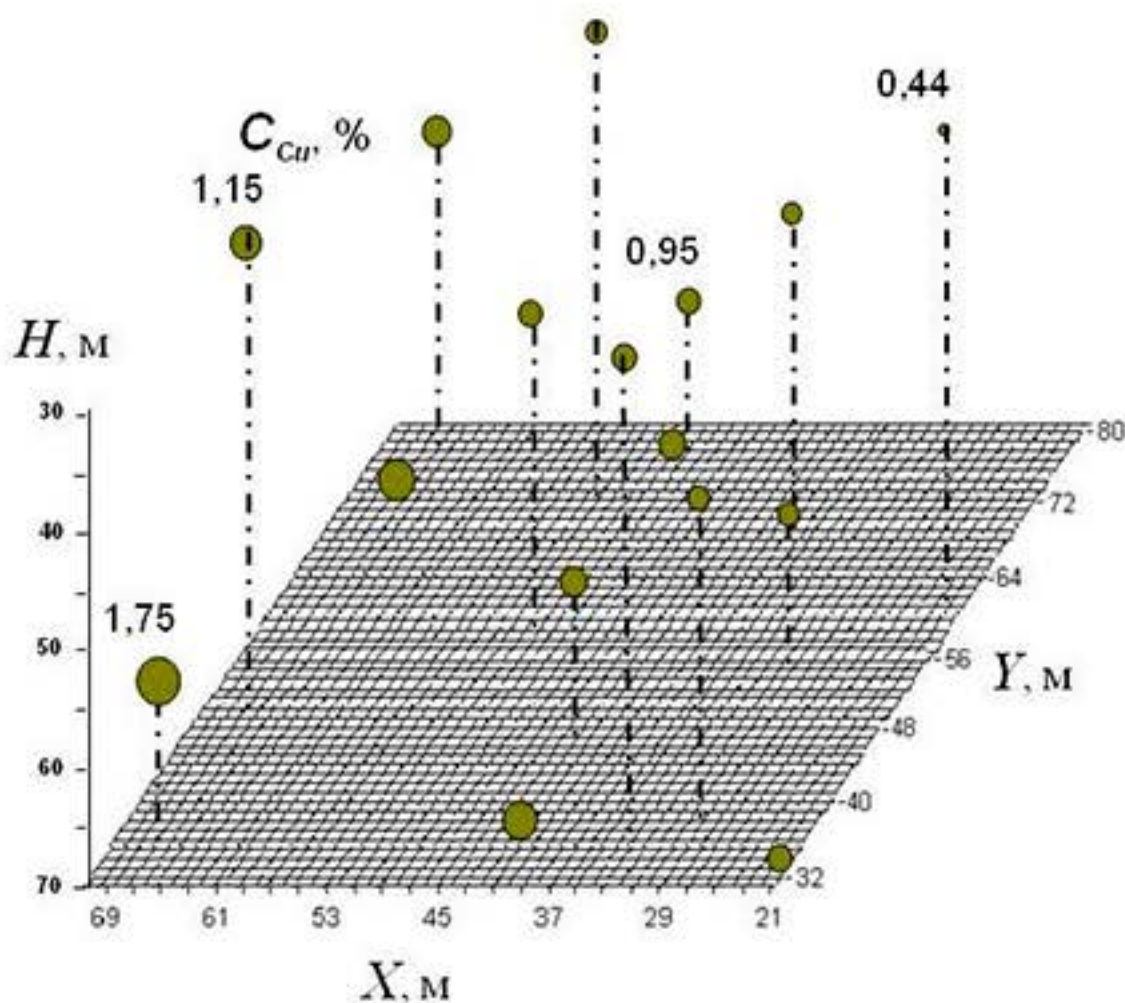
### СОЗДАНА МОДЕЛЬ ОБЪЕМНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ МЕДИ В КРАЕВОЙ ЧАСТИ ПОДЗЕМНОГО БЛОКА РУДЫ

Тренд ПС СПС-2 типа А(1,1,1),

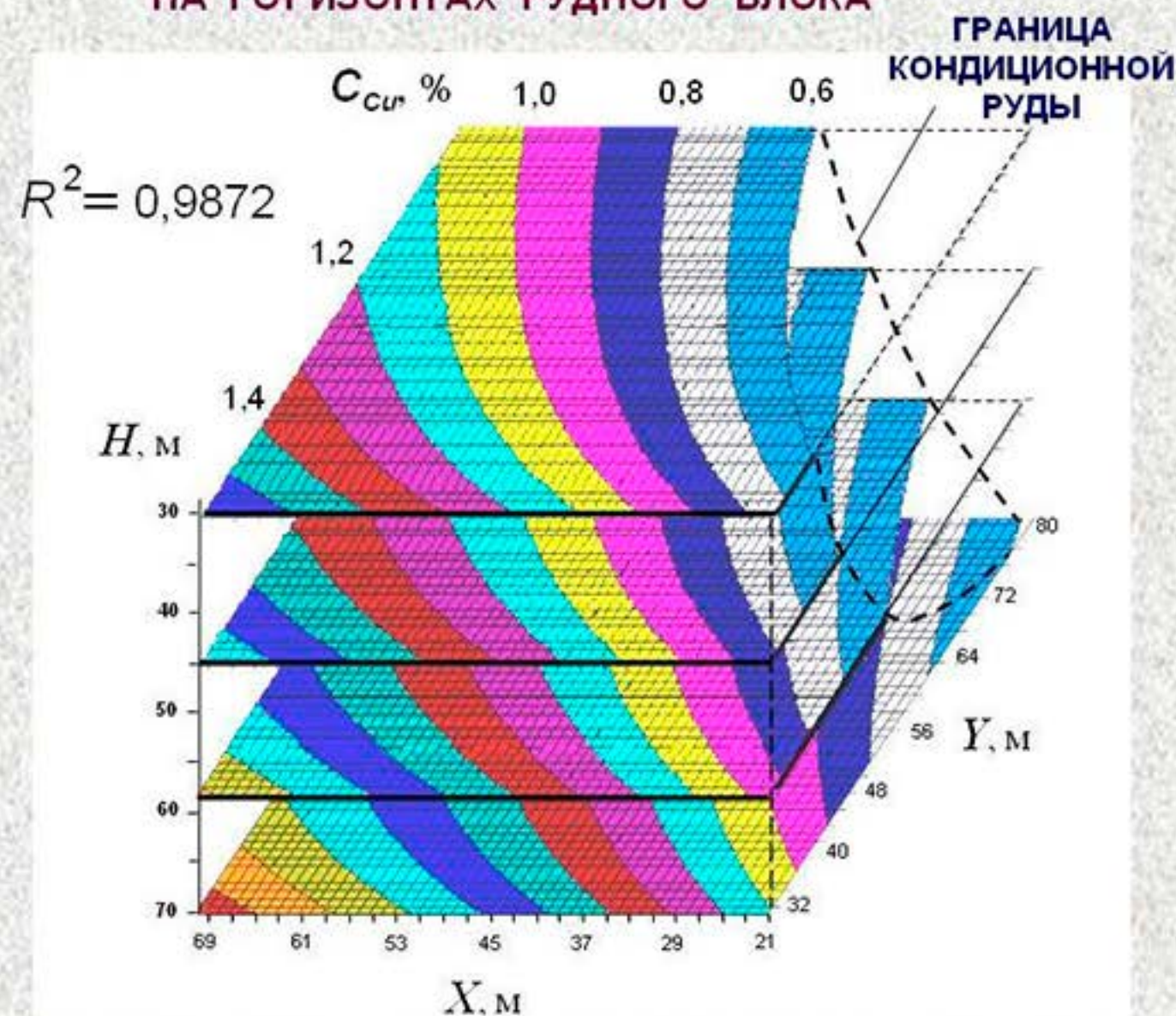
Методика расчета МОЛИ7Т-1

$$C_{Cu} = 0,1715 \cdot X^{0,5506} + 12,8685 \cdot Y^{-0,7151} + 3,8648 \cdot 10^{-5} \cdot H^{2,1899} - 1,3287$$

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕДИ В  
РУДЕ ПО ТОЧКАМ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО  
ОПРОВОАНИЯ



ГРАФИКИ РЕГРЕССИОННОГО  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ МЕДИ  
НА ГОРИЗОНТАХ РУДНОГО БЛОКА





## ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕГРЕССИИ

- **ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕГРЕССИИ ВЫРАЖАЕТСЯ АДЕКВАТНОСТЬЮ (СООТВЕТСТВИЕМ) ЕЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СВОЙСТВАМ ОТОБРАЖАЕМОГО ОБЪЕКТА ИЛИ ПРОЦЕССА**

- **НАЧАЛЬНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ФСП**

- **ПО ФАКТОРНОМУ ПРИЗНАКУ**
- **В ОБЩЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНОМ ВИДЕ**

**СУЩЕСТВЕННО УВЕЛИЧИВАЕТ АДЕКВАТНОСТЬ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ ОБЪЕКТИВНОСТИ УЧЕТА ФАКТОРНОГО ВЛИЯНИЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ СВОБОДЫ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ ПАРАМЕТРОВ, СОДЕРЖАЩИХСЯ В ФАКТОРНЫХ ФУНКЦИЯХ**

- **ПОЭТОМУ, ОТОБРАЖЕНИЕ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ ИЛИ ПРОЦЕССОВ УРАВНЕНИЯМИ ФСП НАИБОЛЕЕ ДОСТОВЕРНО** ПО СРАВНЕНИЮ С РЕГРЕССИЕЙ, ГДЕ ФУНКЦИИ ПОДБИРАЮТСЯ ИСКУССТВЕННО С АПРИОРИ ЗАДАНЫМИ ЦЕЛОЧИСЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ



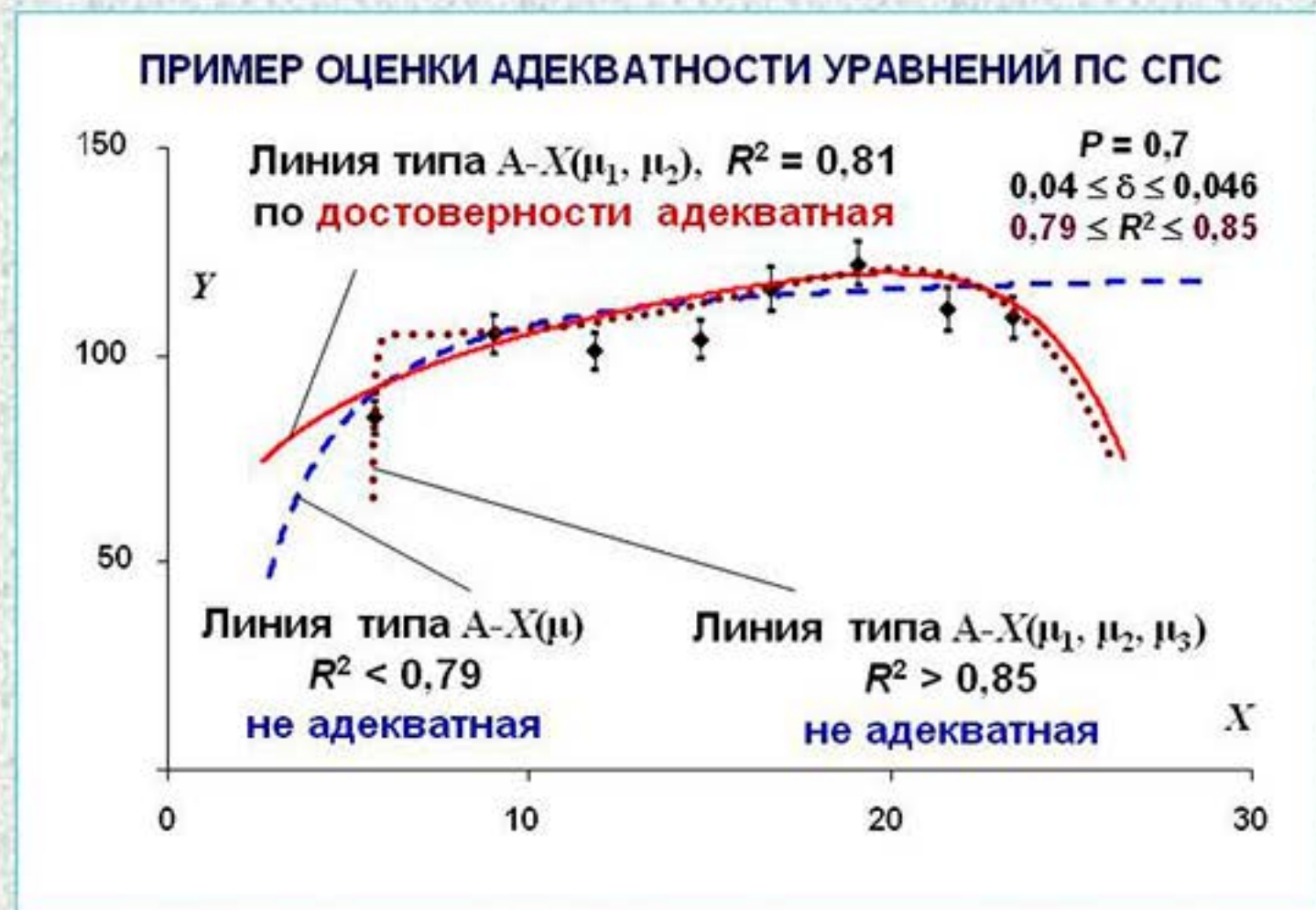
# КРИТЕРИЙ АДЕКВАТНОСТИ РЕГРЕССИИ

АДЕКВАТНЫМ С ДОВЕРИТЕЛЬНОЙ ВЕРОЯТНОСТЬЮ  $P$  СЧИТАЕТСЯ УРАВНЕНИЕ РЕГРЕССИИ, КОЭФФИЦИЕНТ ДЕТЕРМИНАЦИИ КОТОРОГО НАХОДИТСЯ В ИНТЕРВАЛЕ ЗНАЧЕНИЙ  $[R^2_{Н}, R^2_{В}]$ , СООТВЕТСТВУЮЩИХ ИЗМЕНЕНИЮ ДИСПЕРСИИ ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОТСЧЕТОВ  $Y_i$  ЗАВИСИМОЙ ВЕЛИЧИНЫ В УЗЛОВЫХ ТОЧКАХ, РАССЧИТАННЫМ С УКАЗАННОЙ ВЕРОЯТНОСТЬЮ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ПИРСОНА

$$R^2_{Н} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{N_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2}{\chi^2_{\alpha_1, f} \cdot D_Y}$$

$$R^2_{В} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{N_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2}{\chi^2_{\alpha_2, f} \cdot D_Y}$$

По относительной погрешности  $\delta$  экспериментальных измерений рассчитывается интервал  $[R^2_{Н}, R^2_{В}]$  адекватных коэффициентов детерминации





## ВЫВОДЫ

- **УРАВНЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ, ПОСТРОЕННЫЕ С УЧЕТОМ ДЕЙСТВУЮЩИХ НА НЕЕ ФАКТОРОВ И ОПТИМИЗИРОВАННЫЕ ПО ПАРАМЕТРАМ СООТВЕТСТВУЮЩИХ ФАКТОРНЫХ ФУНКЦИЙ, ОБЛАДАЮТ ПОВЫШЕННОЙ ДОСТОВЕРНОСТЬЮ ОТОБРАЖЕНИЯ СВОЙСТВ И ХАРАКТЕРИСТИК ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ**
- **АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ УРАВНЕНИЙ НЕЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ ПО ЧИСЛЕННОМУ МЕТОДУ ПРИБЛИЖЕНИЙ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ВЕРШИНЫ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ЧЕРЕДУЮЩИХСЯ СЕЧЕНИЯХ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ КОЭФФИЦИЕНТА ДЕТЕРМИНАЦИИ ПРИВОДИТ К УСТОЙЧИВОЙ СХОДИМОСТИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ШИРОКОГО КЛАССА ФАКТОРНЫХ ФУНКЦИЙ РАЗНОЙ МЕРНОСТИ**
- **ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ И ПОСТРОЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ФАКТОРНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ, В ТОМ ЧИСЛЕ РАССЧИТАННЫХ ПО ПРОГРАММЕ «ТРЕНДЫ ФСП-1», ОБЕСПЕЧИВАЕТ ВЫСОКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕРПРЕТАЦИИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАЗНЫХ ОБЛАСТЯХ НАУЧНОГО ЗНАНИЯ**