

**Анализ потенциала инклюзивного
устойчивого развития
социоприродохозяйственных систем
пойменных территорий на основе
статистического анализа и
междисциплинарного
моделирования**



А.А. Воронин,
И.И. Исаева,
О.Ю. Ватюкова

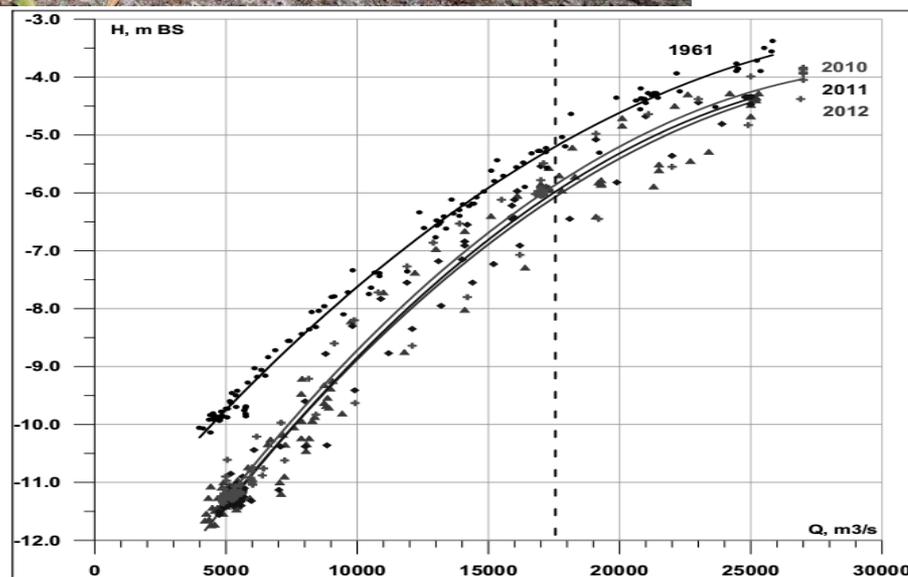
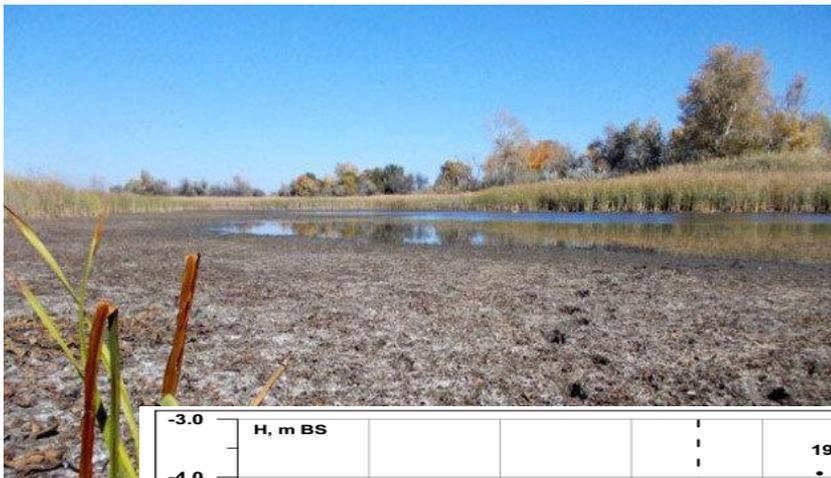
Пойменные СПХС:



- уникальность;
- мозаичность территориальной структуры;
- зависимость от водных ресурсов;
- угроза наводнений;
- природная неопределенность;
- многоакторность, конфликтность;
- многокритериальность...



Пойменные СПХС: *прогрессирующая комплексная деградация*



ВСЛЕДСТВИЕ

- зарегулированности стока,
- русловой деградации,
- ненормативной
социохозяйственной
активности.



Пойменные СПХС: задачи анализа потенциала инклюзивного устойчивого развития (УИР)

1. Определение диапазона параметров устойчивого состояния всех подсистем СПХС, анализ проектов стабилизации.
2. Определение области целевых показателей УИР и меры их инклюзивности для коллективных акторов (КА), анализ проектов развития.
3. Определение меры и анализ механизмов участия КА в достижении целей УИР.
4. Определение и анализ комплекса проектов и механизмов реализации УИРс учетом активности КА.

Структура СПХС: *целевые (акторы) и характеристические (территории) функции*

Переменные состояния :

S – площадь территории; n – частота затоплений

L – длина русел; x – наполненность русел.

Целевые функции КА:

$$F_i = \frac{1}{S_i} \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^{J_{ik}} \lambda_{ik} S_{ij}^k f_i(n_k, x_{ij}^k), S_i = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^{J_{ik}} S_{ij}^k \quad (i = 1, \dots, m)$$

Характеристические функции элементов территории :

$$f_i(n, x, \eta) = \varphi_{1i}(n_i) \varphi_{2i}(x_i) \varphi_{3i}(\eta_i); \eta = \frac{L_i}{S_i}$$

$$\varphi_{1j}(n) = \varphi(n, n_{1j}, n_{2j}, \varphi_{\min j}, \varphi_{\max j}), j = 1, \dots, m_1;$$

$$\varphi_{1j}(n) = 1 - \varphi(n, n_{1j}, n_{2j}, \varphi_{\max j}, \varphi_{\min j}), j = m_1 + 1, \dots, m;$$

$$\varphi_{2i}(x) = \varphi(x, x_{1i}, x_{2i}, \varphi_{\min i}, \varphi_{\max i}),$$

$$\varphi_{3i}(\eta) = \varphi(\eta, \eta_{1i}, \eta_{2i}, \varphi_{\min i}, \varphi_{\max i}), i = 1, \dots, m;$$

$$\varphi(y, y_1, y_2, a, b) = \begin{cases} a, & 0 \leq y < y_1 \\ \frac{(b-a)y + ay_2 - by_1}{y_2 - y_1}, & y_1 \leq y \leq y_2; \\ b, & y_2 \leq y \leq 1 \end{cases}$$

Коллективные акторы:

1. Жители.
2. ХС орошаемого земледелия.
3. ХС животноводства.
4. ХС ГЭС
5. Иные ХС
6. Жители мегаполисов, туристы
7. Муниципалитеты.
8. Федеральный Центр

Территории:

Водно-болотные угодья (П)

Заливные луга (П,Х)

Леса (П,Х)

Рекреационные зоны (П,С)

Зоны орошаемого земледелия (Х)

Иные социохозяйственные зоны (Х)

Жилые зоны (С)

Пойменные СПХС: *механизмы инклюзивности устойчивого развития*

Инклюзивность
результатов

- Стабилизация подсистем
- Максимизация критериев состояния подсистем и целевых функций акторов

Инклюзивность
процесса

- Механизмы софинансирования гидротехнических проектов
- Механизмы диверсификации

Пойменные СПХС: задачи анализа потенциала инклюзивного устойчивого развития (УИР)

Стабилизация(?) и максимизация критериев состояния подсистем и целевых функций КА

$$F_k = \sum_{i_p, p=1}^{p_1} \left(\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^{J_{ik}} S_{ij}^k f_i(n_k, x_{ij}^k) \right) \rightarrow \max_{(pr, mech)}, k = (соц, прир, хоз)$$

$$F_i = \frac{1}{S_i} \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^{J_{ik}} \lambda_{ik} S_{ij}^k f_i(n_k, x_{ij}^k) \rightarrow \max_{(pr, mech)}, S_i = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^{J_{ik}} S_{ij}^k \quad (i = 1, \dots, m)$$

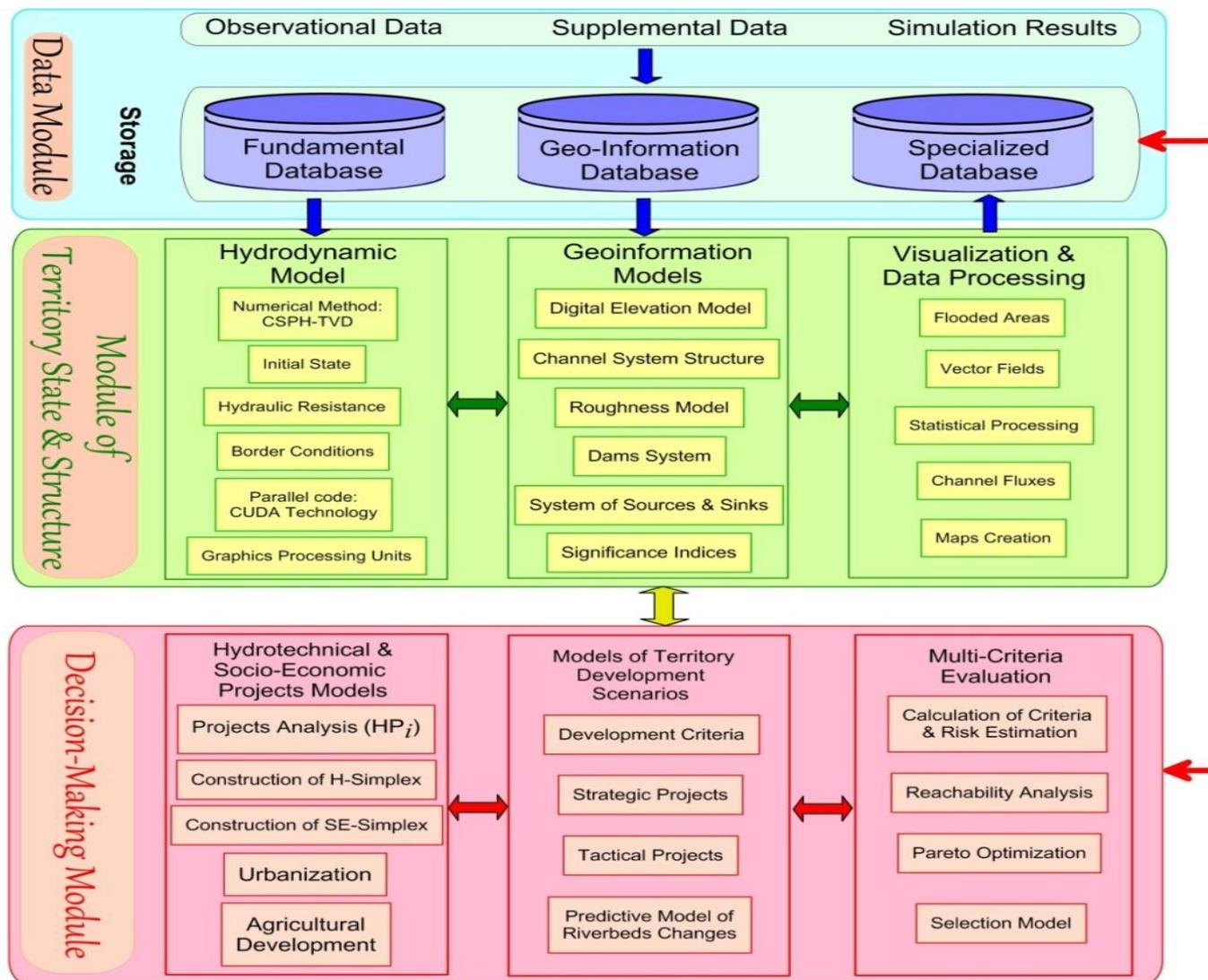
⇓

Устойчивость состояния и максимизация характеристических функций территориальных элементов :

$$S_i \geq S_{lim}, n_i \geq n_{lim} (n_i \leq n_{lim}), \eta_i \geq \eta_{lim}, x_i \geq x_{lim} \quad \left(\eta_i = \frac{L_i}{S_i} \right)$$

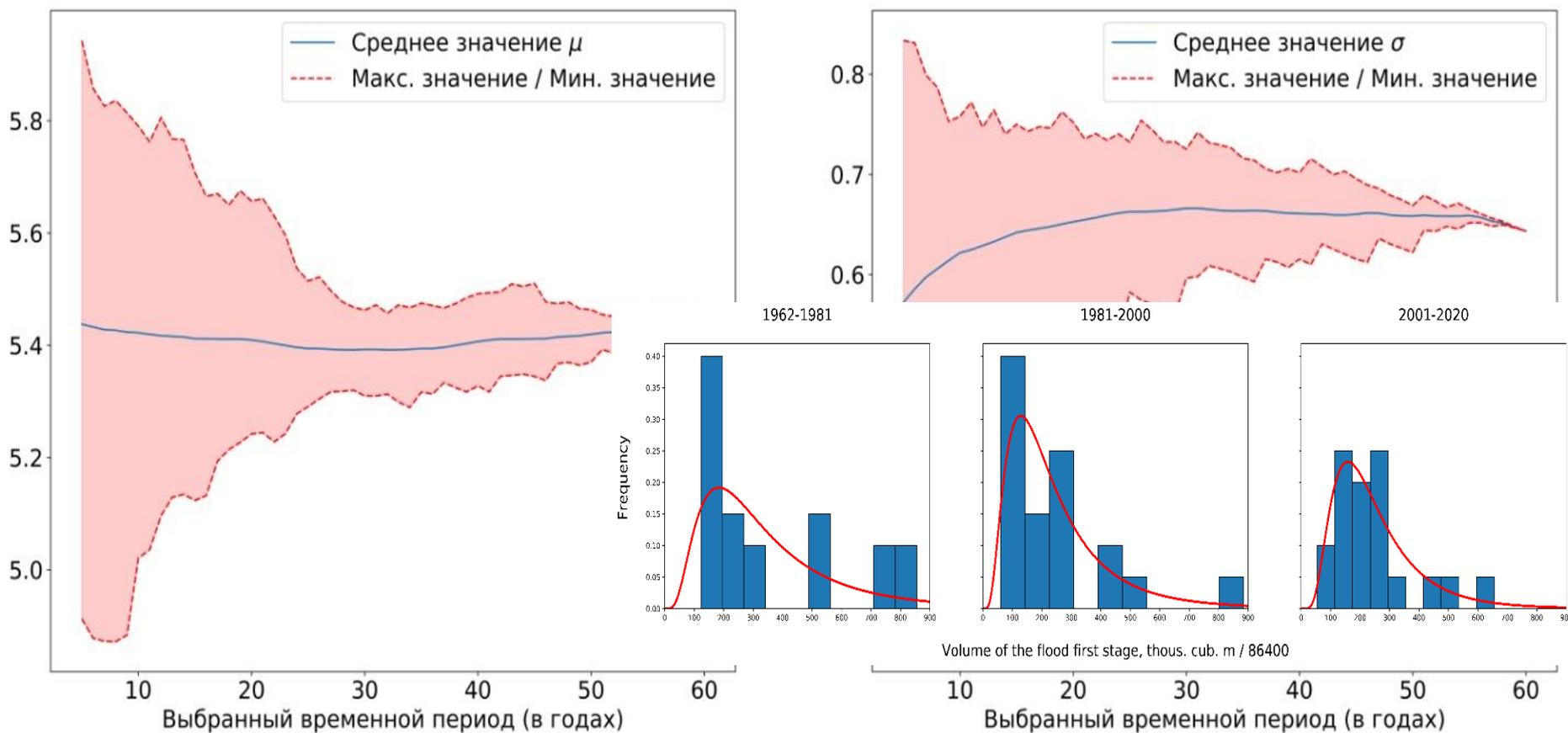
$$f_i(n, x, \eta) \rightarrow \max_{(pr, mech)} \quad i = 1, \dots, n$$

Анализ потенциала УИР пойменных СПХС: программно-математический комплекс

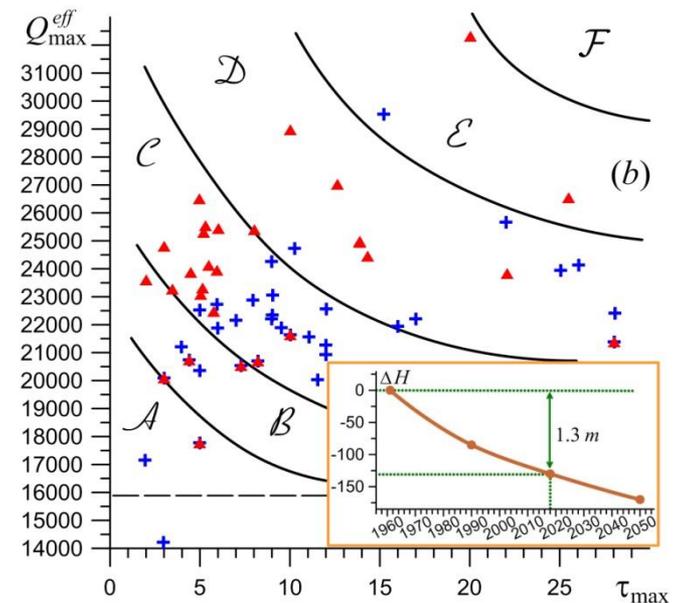
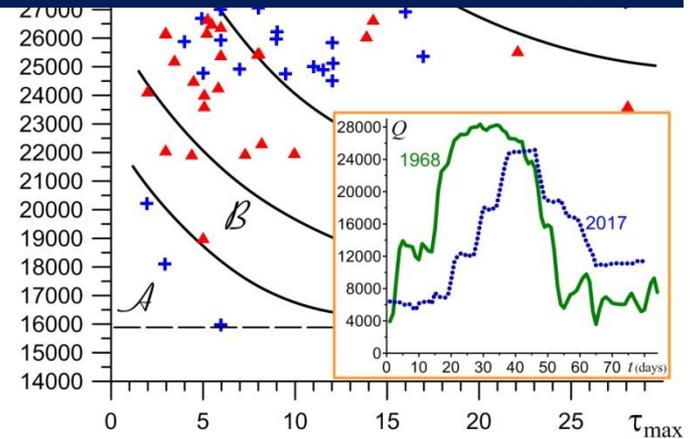
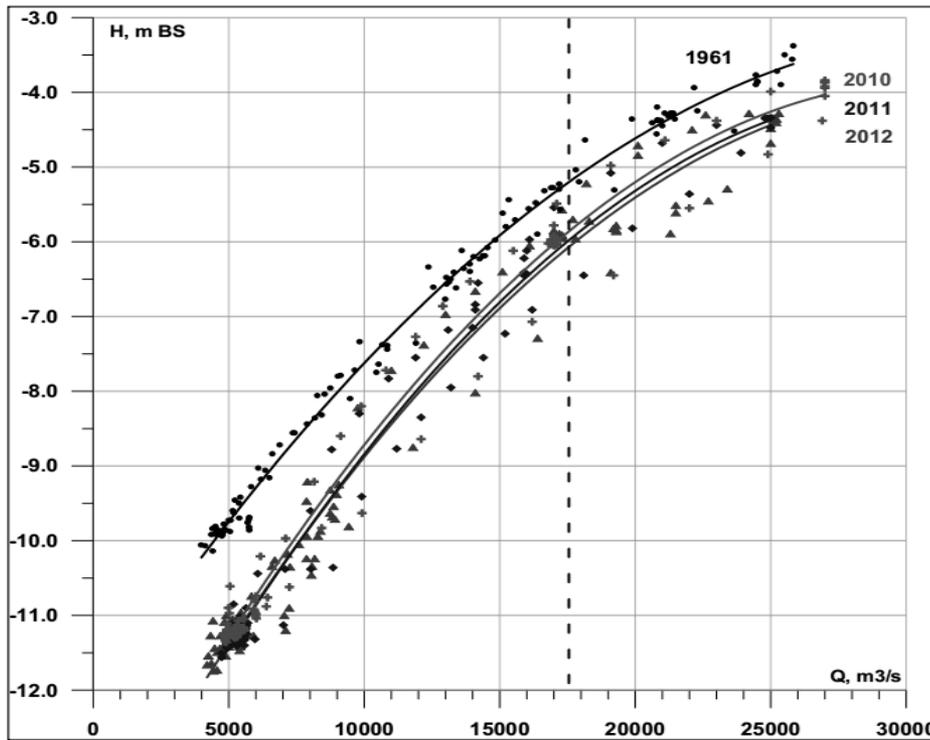


Модель комплексной структуры пойменной территории: *статистический анализ объемов паводков (ВАП), гидрологическая структура территории*

Коэффициенты логнормального распределения

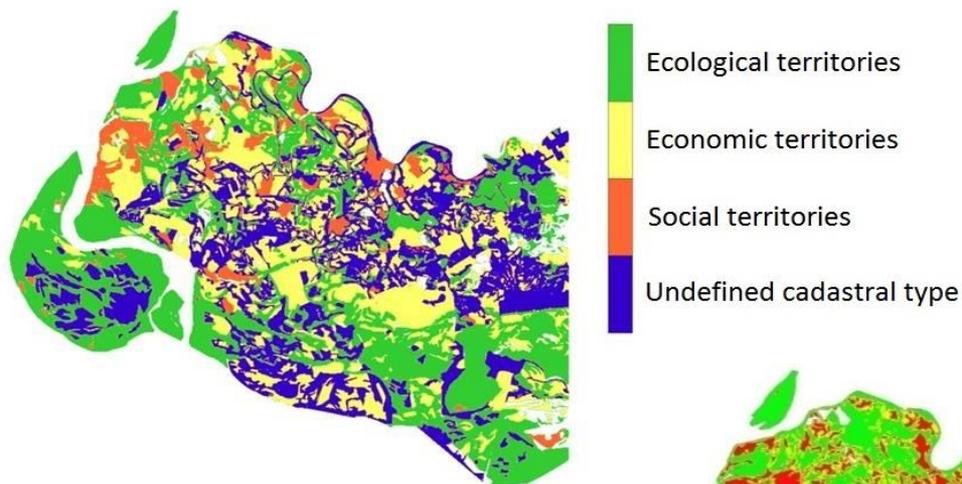


Модель комплексной структуры пойменной территории: *модель русловой динамики (ВАП)*



Комплексная структура пойменной территории: карты функциональной (4 типа) и гидрологической (3 типа) структур ВАП

Функциональная структура



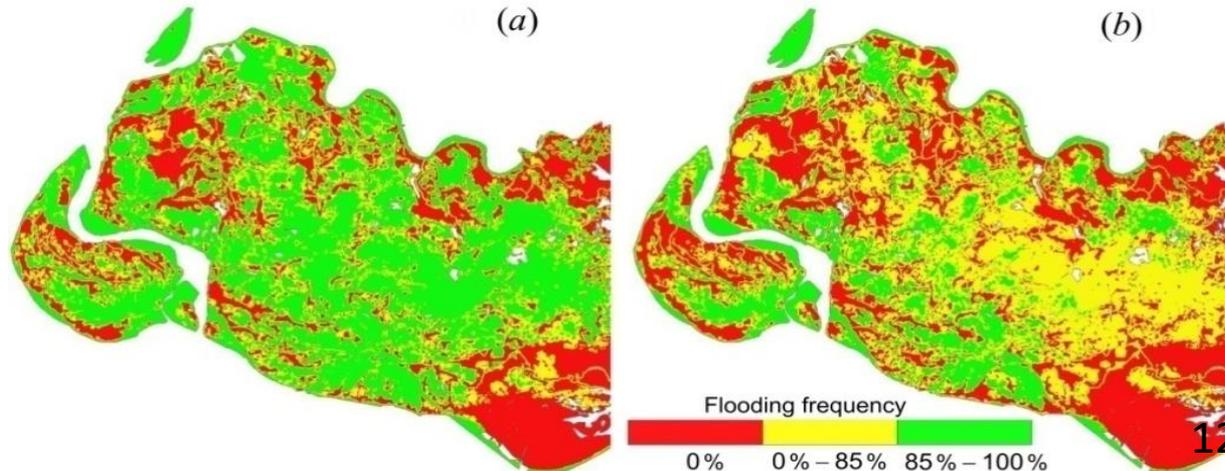
Гидрологическая структура и ее динамика

1962-1991

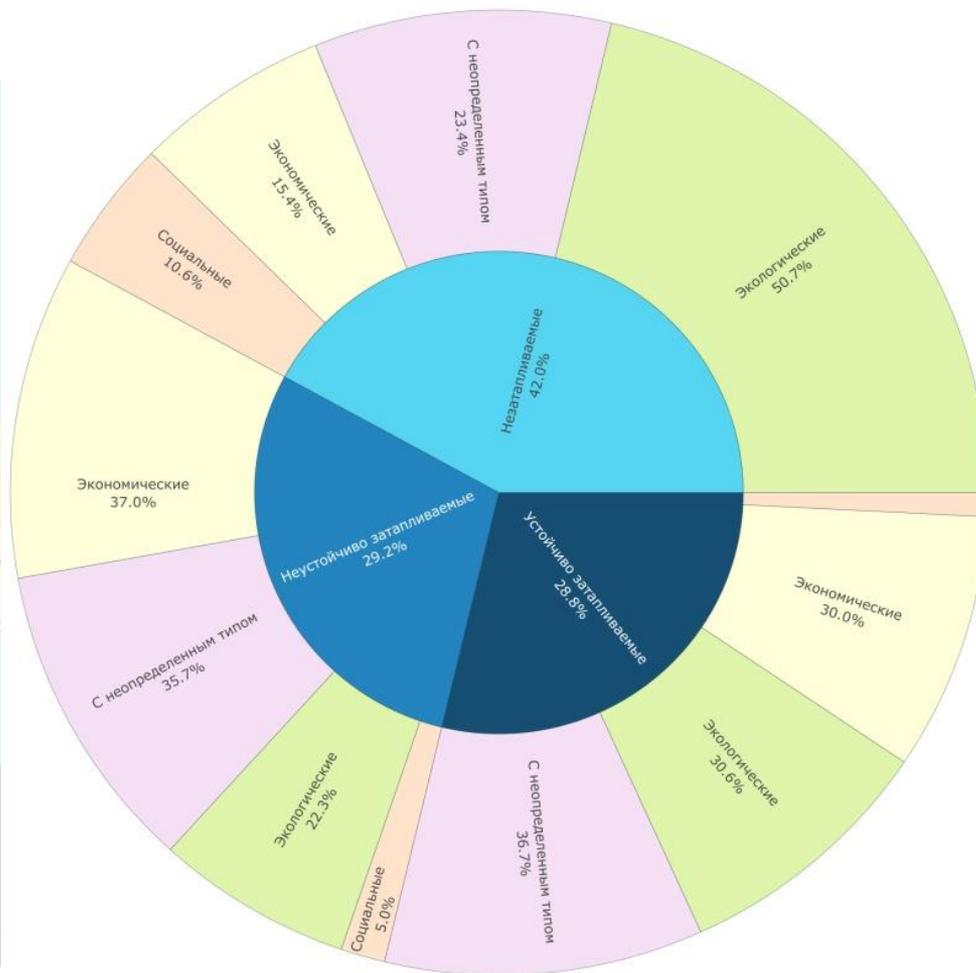
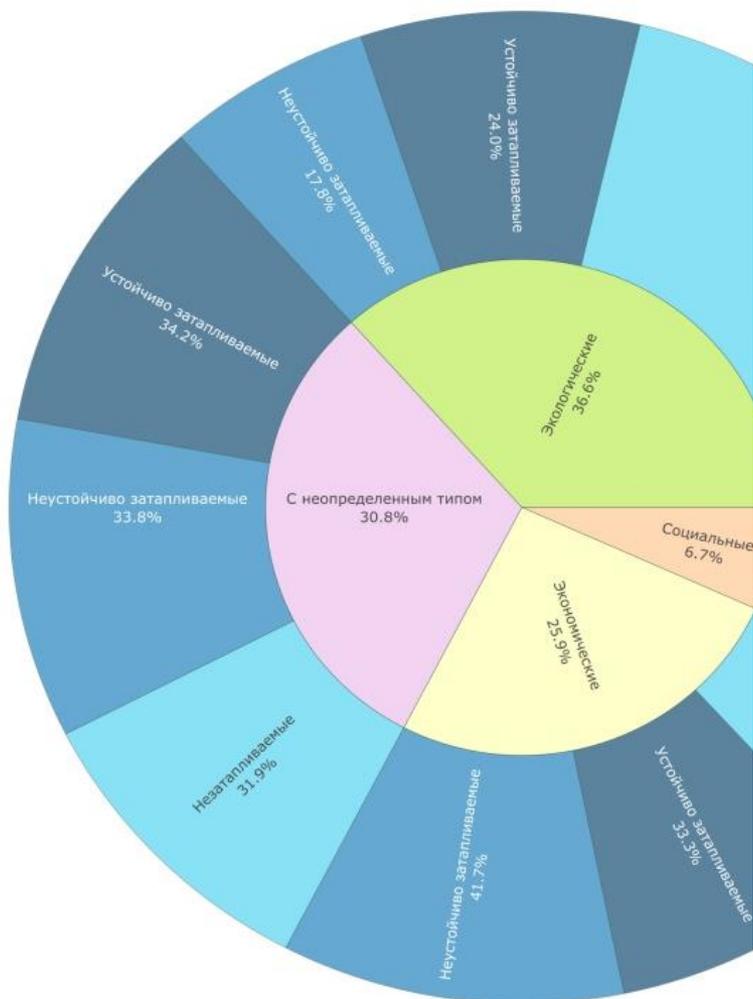
(a)

1992-2021

(b)



Комплексная структура пойменной территории: *12-элементная модель (ВАП)*



Комплексная структура пойменной территории: *структурные карты 12-типов элементов (ВАП)*



Экологические территории



Часто затопляемые

Редко затопляемые

Незатопляемые

Экономические территории



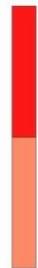
Часто затопляемые

Редко затопляемые

Незатопляемые



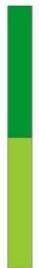
Socio-economic index



2

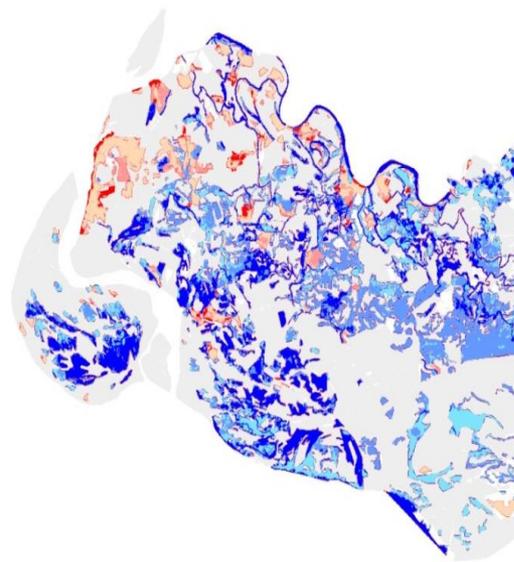
1

Ecological index



2

1



Социальные территории



Часто затопляемые

Редко затопляемые

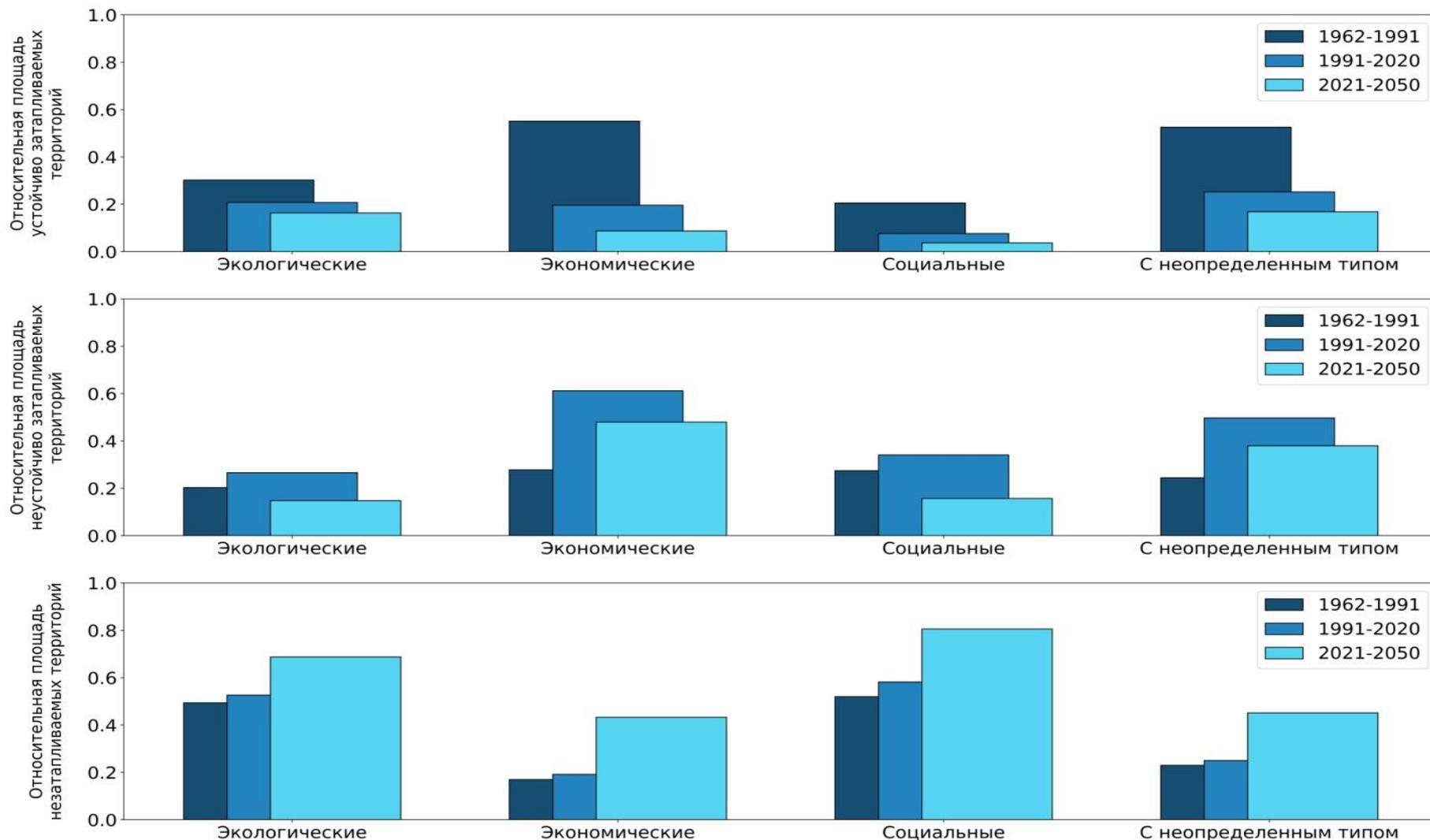
Незатопляемые

Некадастрированные территории



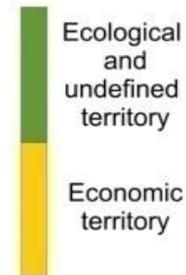
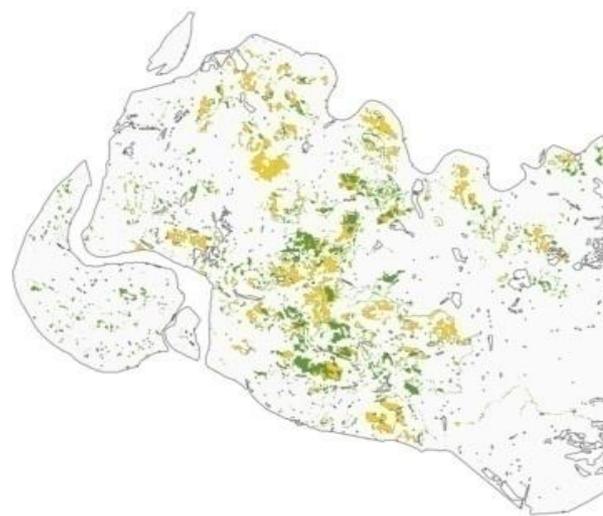
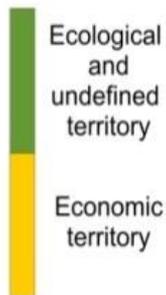
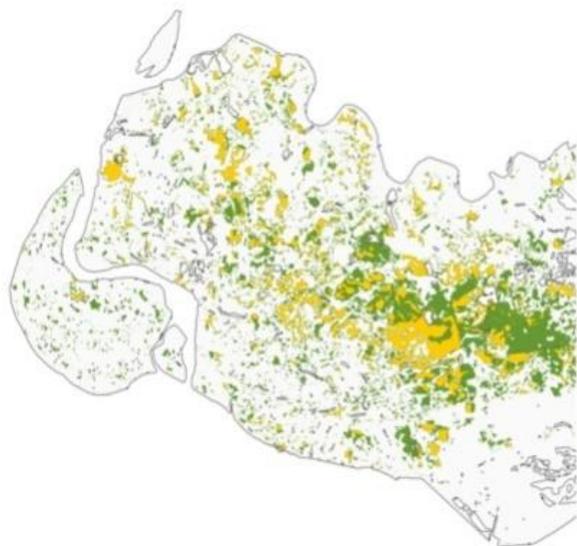
Индексы значимости
территориальных элементов

Модель комплексной структуры пойменной территории: *динамика 12-элементной структуры (ВАП)*

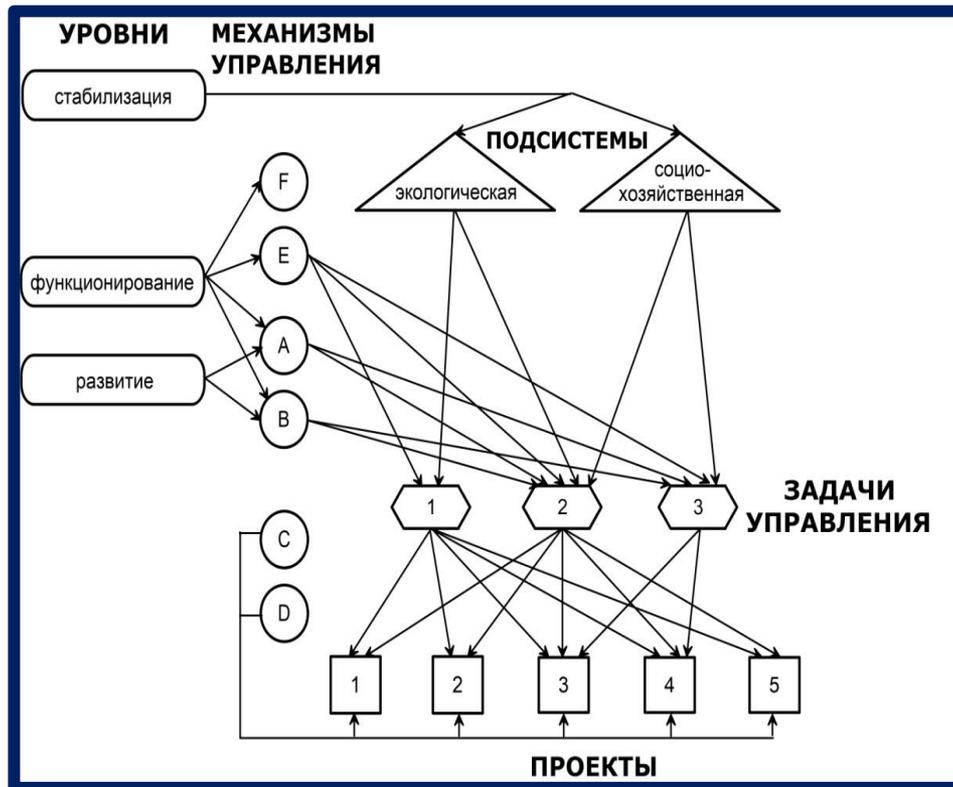


Комплексная структура пойменной территории: *динамика 12-элементной модели (ВАП)*

Территории, потерявшие устойчивость паводкового затопления (слева) и территории, теряющие ее согласно прогнозу за 2021-2050гг. (справа)



Система управления устойчивым инклюзивным развитием ВАП: *проекты и механизмы*



Задачи:

1. стабилизация и безопасность СПХС,
2. Инклюзивность целей развития
3. Инклюзивность процесса развития.

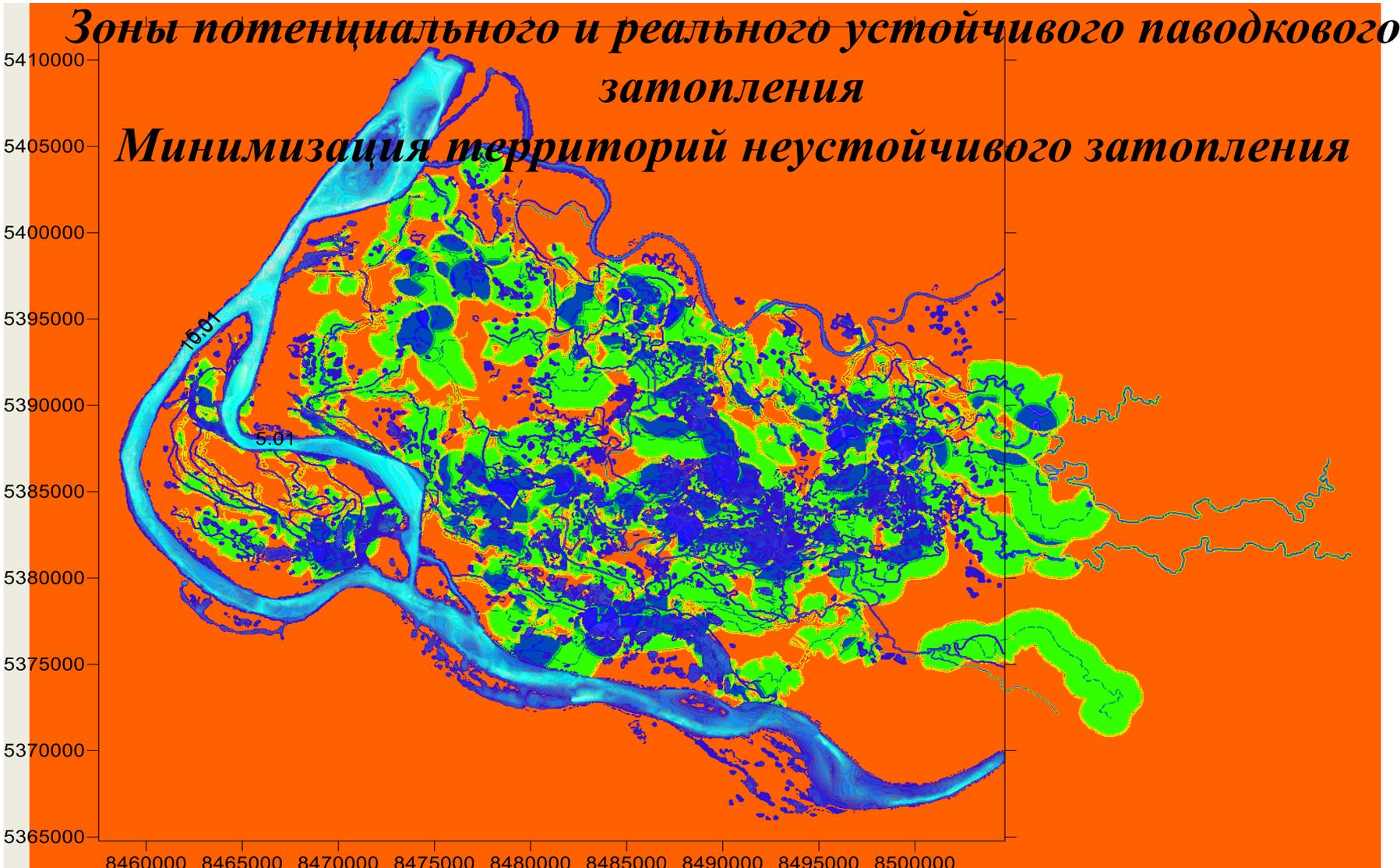
Гидротехнические проекты:

1. обводной канал из Волгоградского водохранилища в р. Ахтубу,
2. дамбы в русле р. Волге,
3. дамбы в русле р. Ахтубы,
4. дамбы в малых руслах ВАП,
5. углубление малых русел ВАП.

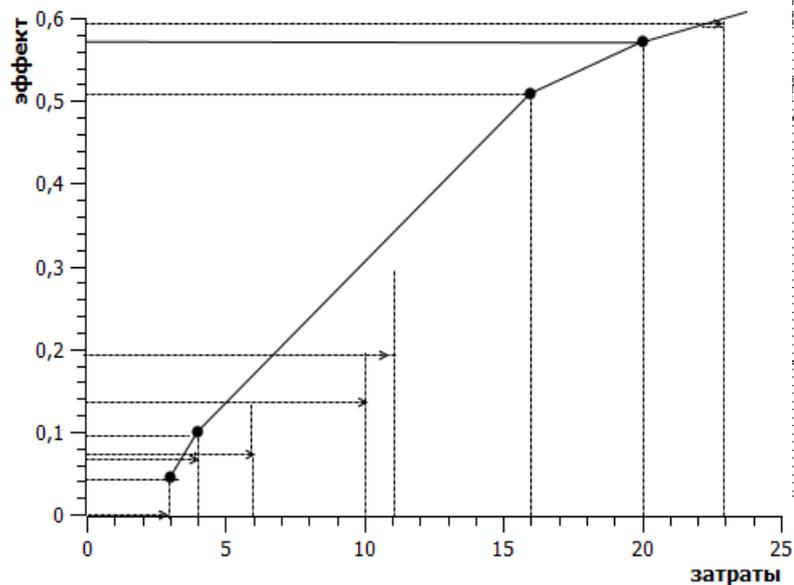
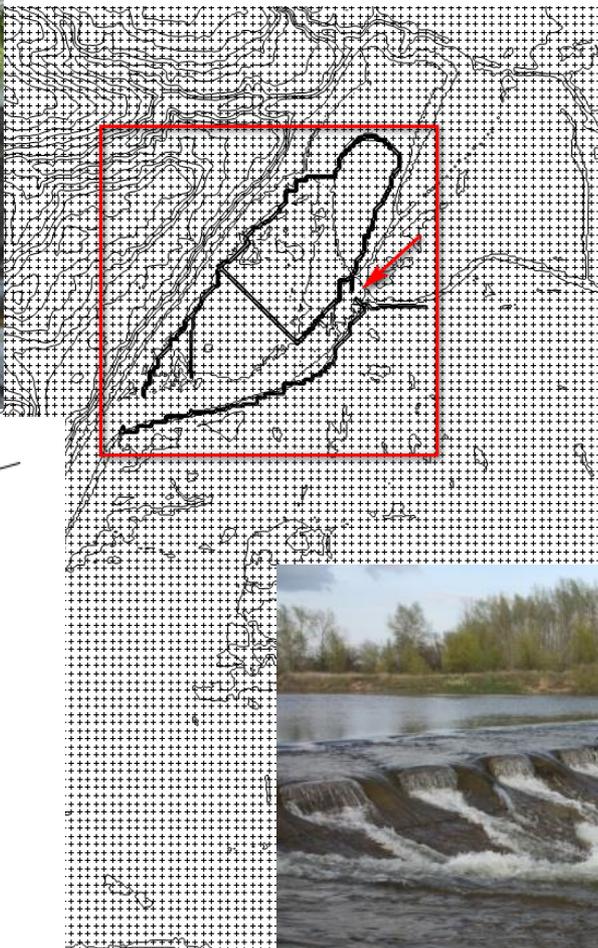
Социально-экономические проекты и механизмы управления:

- (A) управление урбанизацией и
- (B) хозяйственным освоением территории ВАП,
- (C) софинансирования гидротехнических экологических
- (D) и социохозяйственных проектов,
- (E) Управления экономическим агентом ВГЭС,
- (F) экономической мотивации рационального земле- и водопользования.

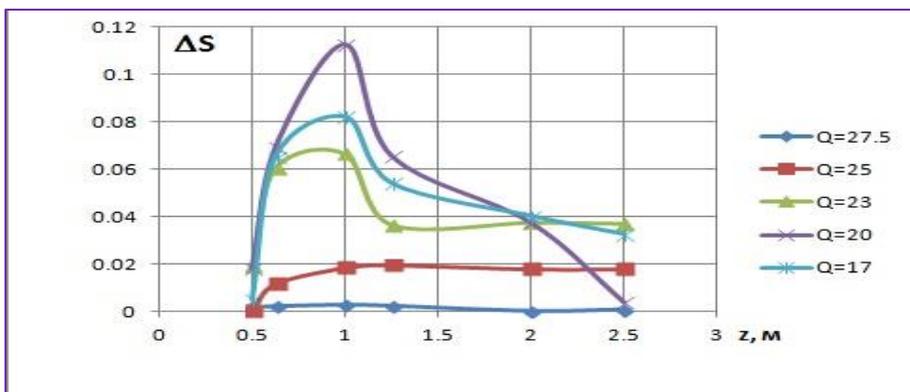
Гидротехнические проекты ВАП: *анализ достижимости целей УИР (оптимизация п- частот затопления)*



Управление проектами: *дамбы (оптимизация n - частот затопления территории и x – наполненности малых русел ВАП)*



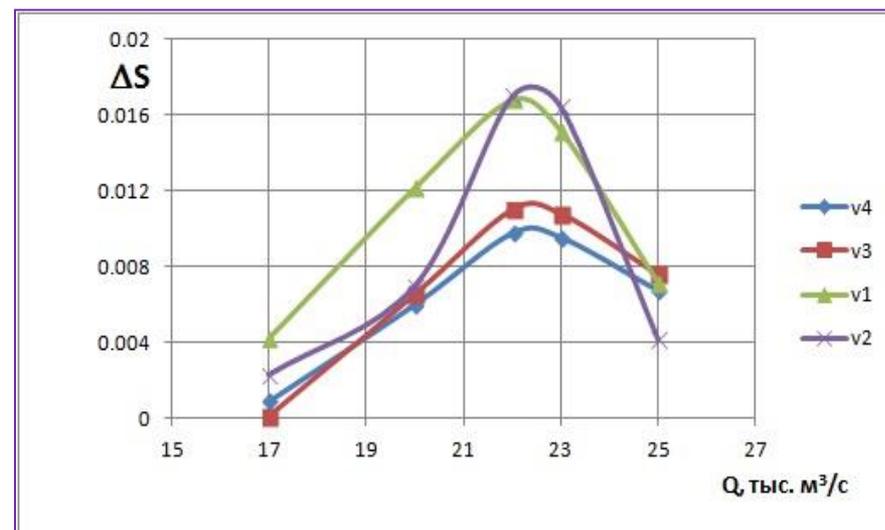
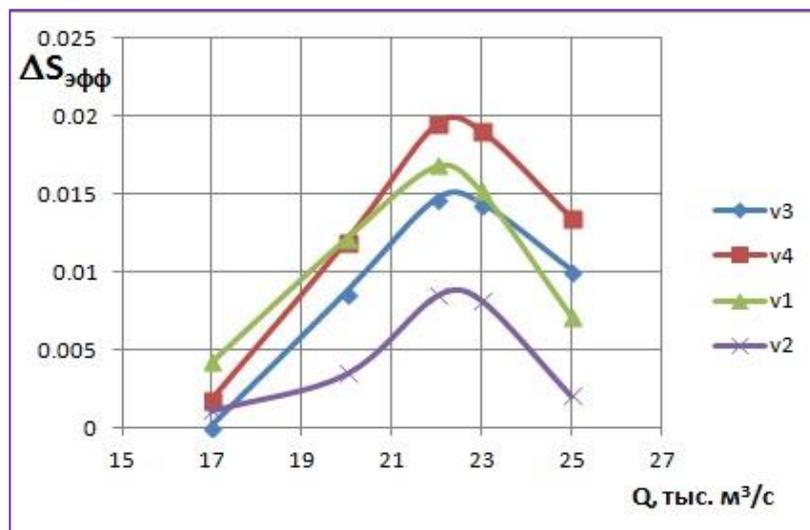
Управление проектами: *восстановление русел (оптимизация x -наполненности малых русел ВАП)*



R – затраты

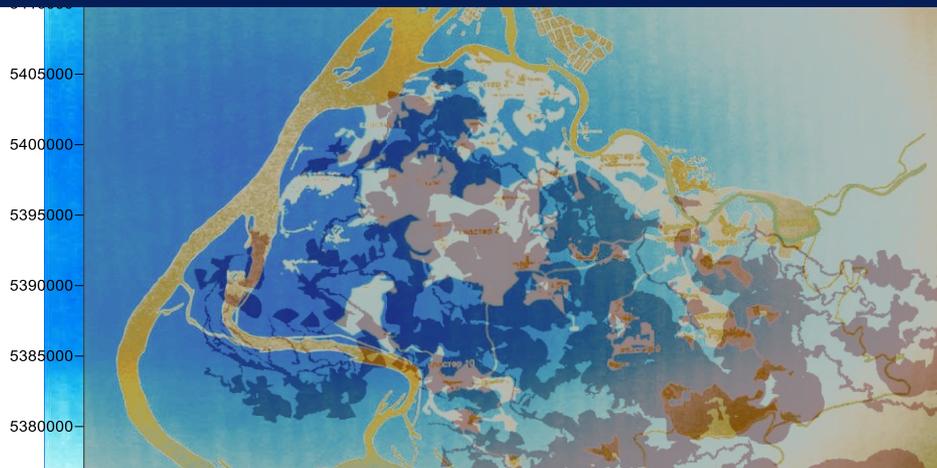
Q – гидрограф

Зависимость приращения площади затопления от глубины расчистки



Зависимость приращения площади затопления от гидрографа при различных затратах

Управление проектами: **урбанизация (оптимизация видов использования новых территорий с учетом величин параметров их водообеспеченности x и L/S)**



$$f_{\Phi Ц} = \sigma f_F^0(\Phi(S_f)) + (1 - \sigma)R(\Phi(S_f)) \rightarrow \max_R,$$

$$f_{MЦ} = Sp - R(\Phi(S_f)) \rightarrow \max_p,$$

$$f_{Акт} = f_A^0(\Phi(S_f), S) - Sp \rightarrow \max_S, \quad 0 \leq S \leq S_0,$$

p – цена, S – площадь продаваемой территории

$R(\Phi(S_f))$ – штраф

Сравнение аналитических решений

**Равновесие неуправляемой
двухуровневой модели**

$$S = \frac{S_0}{4},$$

$$p = \frac{aS_f^0}{2},$$

$$S_f(S) = \frac{3}{4}S_f^0.$$

**Равновесие управляемой
трехуровневой модели**

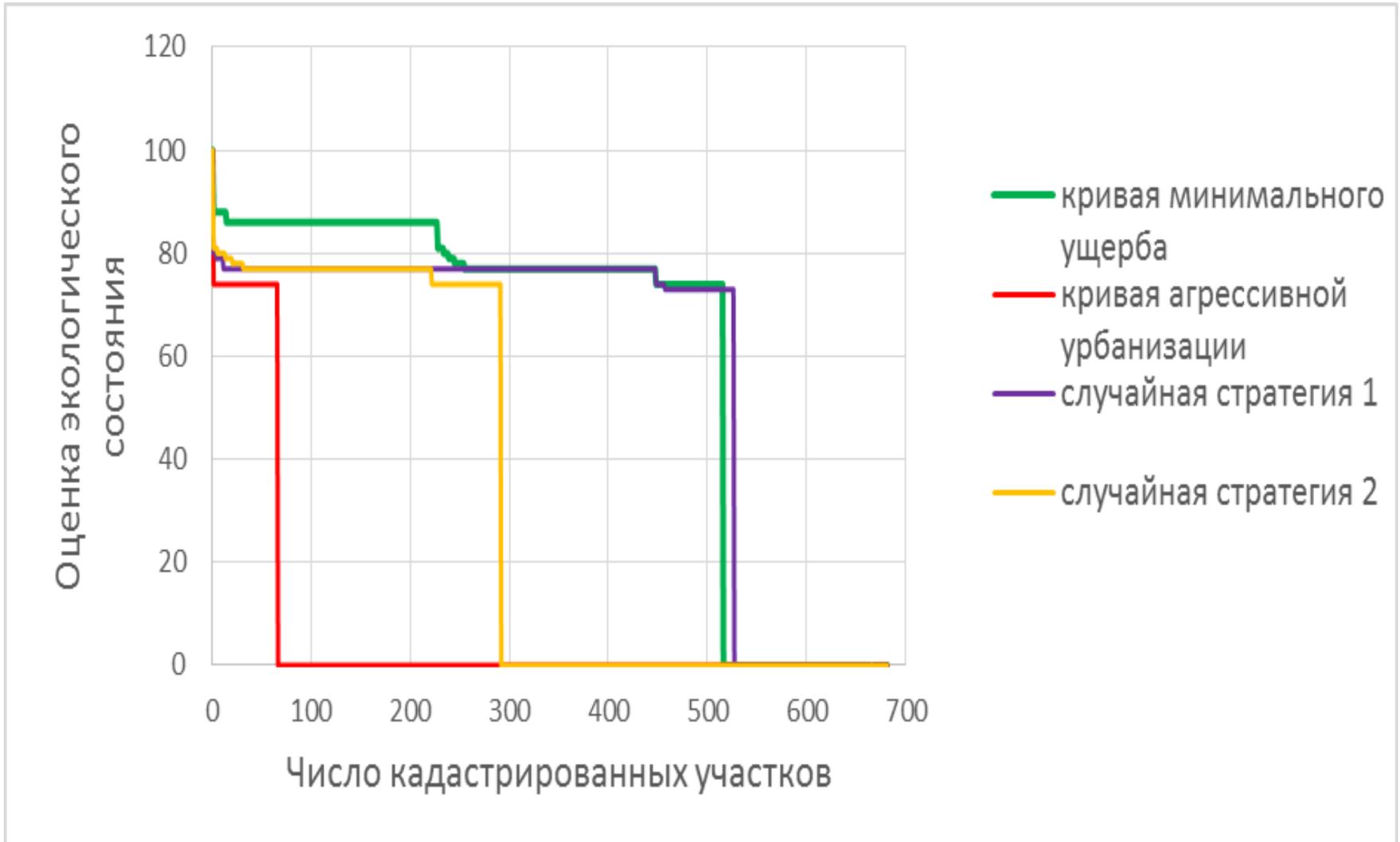
$$S = \frac{S_0}{8}(1 - \varepsilon),$$

$$p = \frac{aS_f^0}{4}(3 + \varepsilon),$$

$$\lambda = \frac{aS_0}{2}(1 + \varepsilon),$$

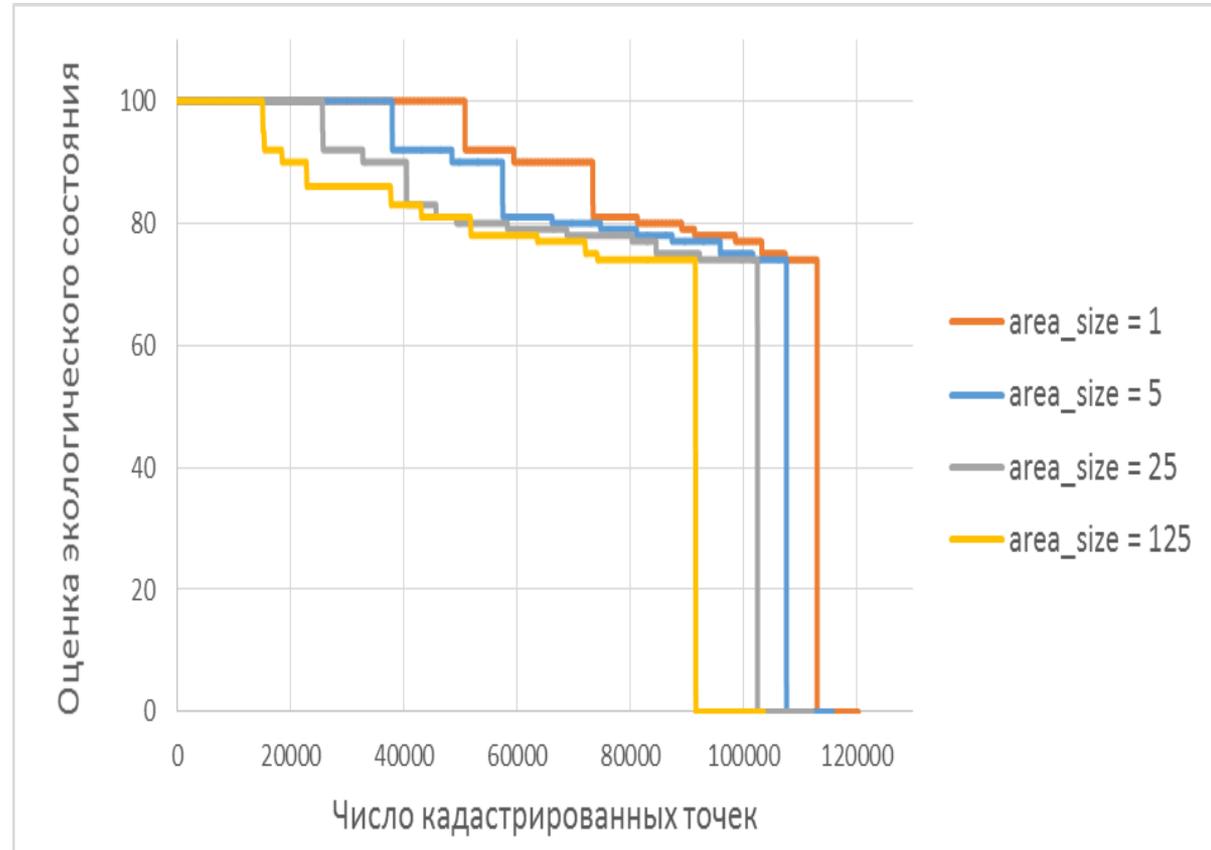
$$S_f(S) = \frac{S_f^0}{8}(7 + \varepsilon).$$

Управление проектами: *анализ стратегий урбанизации*



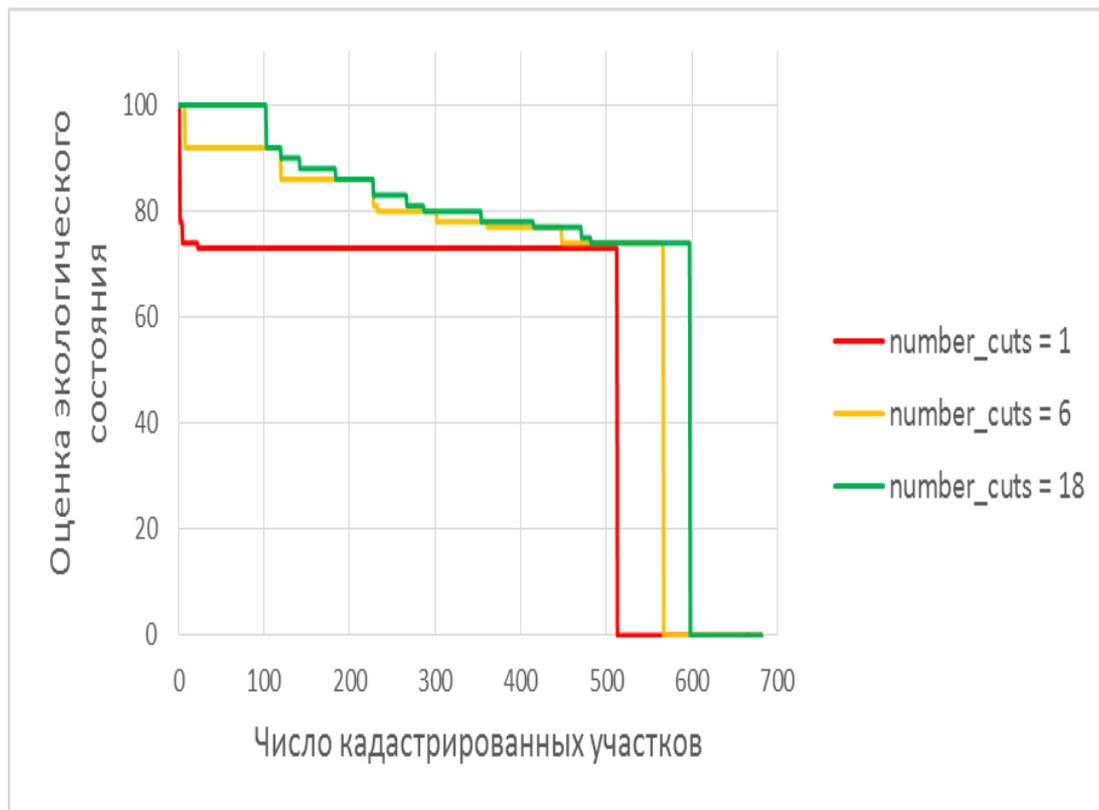
Управление проектами: *анализ стратегий урбанизации*

Кривые
минимального
ущерба
для участков
различной
площади

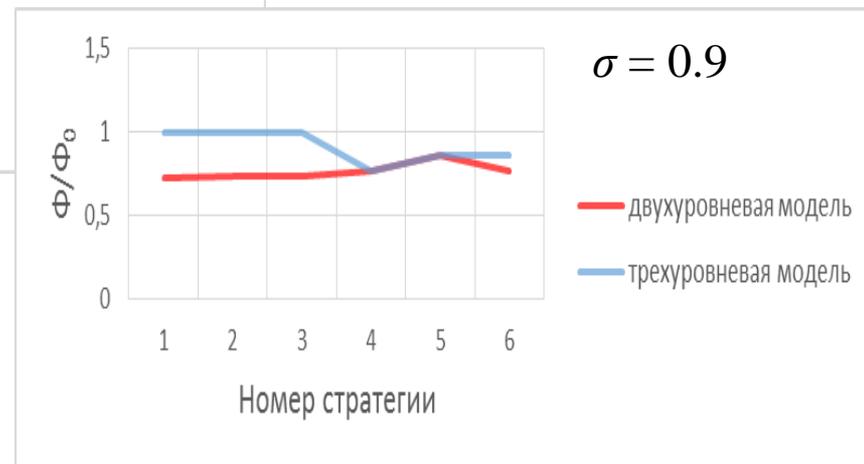
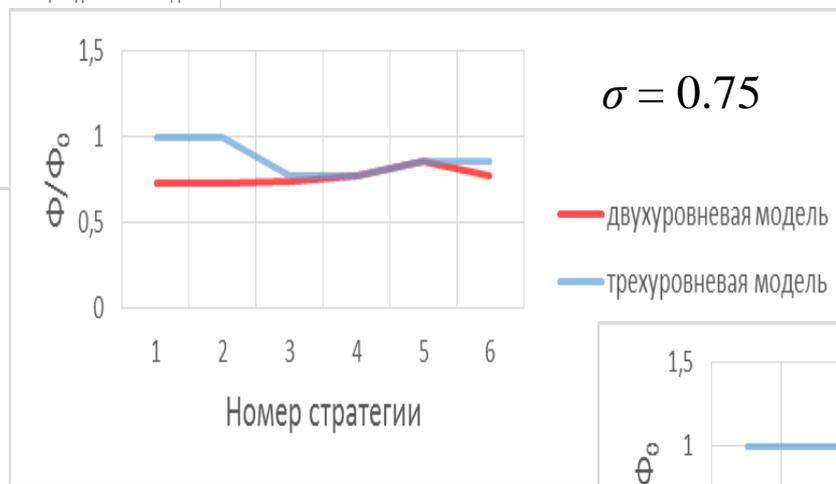
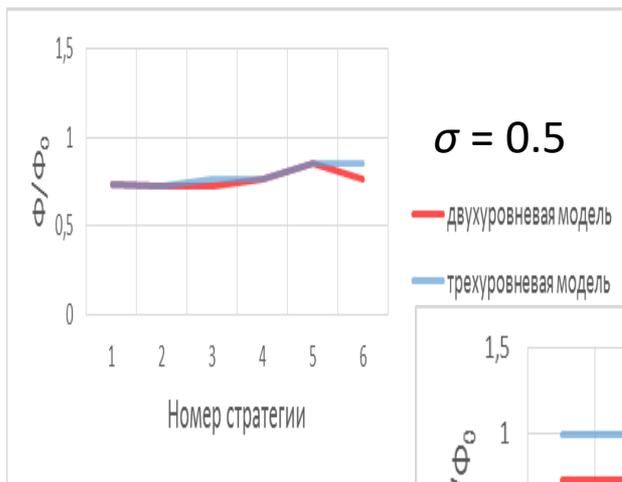


Управление проектами: *анализ информированности при управлении урбанизацией*

Кривые
минимального
ущерба
при различной
осведомленности
Центра о районах
паводковых
затоплений
территорий ВАП



Управление проектами: *анализ системы управления урбанизацией*



Управление проектами: **ИНКЛЮЗИВНОСТЬ процесса** (механизмы софинансирования проектов в малых руслах пойм)

$$\Phi(R) = \sum_{i=1}^n \varphi_i(x, u) \rightarrow \max_u;$$

$$F_i(x, u_i, q_i) = f(x, u) - q_i \rightarrow \max_{q_i}$$

$$\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)u_i \leq R, \quad 0 \leq q_i \leq f_i, \quad u_i = \{0; 1\} \quad (i = \overline{1; n})$$

R – ресурс Центра,

p_i - стоимость i -ого проекта,

φ_i - доход Центра от i -ого проекта,

q_i – величина софинансирования i -ого
актера

Управление проектами: *инклюзивность процесса* (механизмы софинансирования)

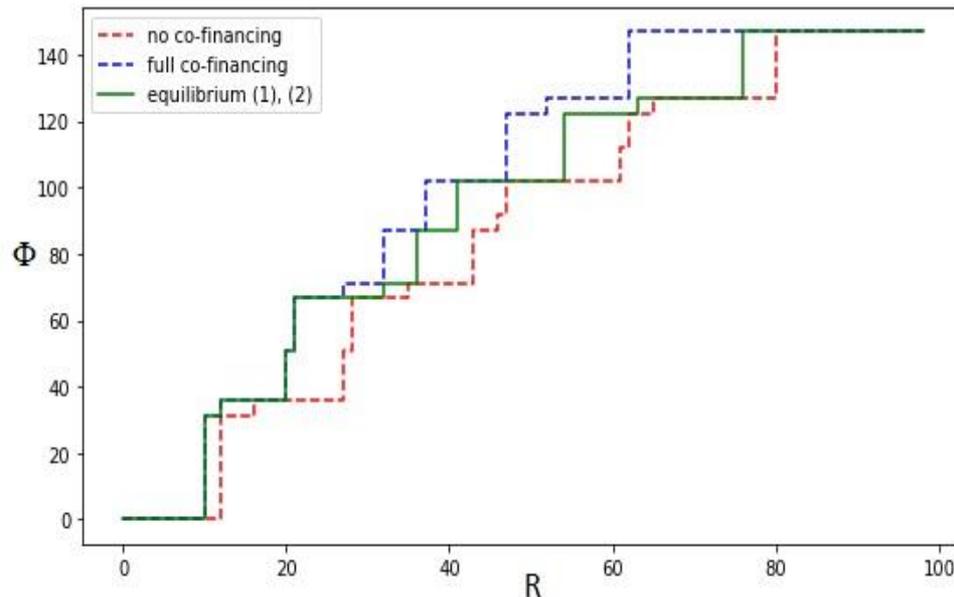
Пример для 5 акторов

Входные данные

Проект	№1	№2	№3	№4	№5
p_i	12	18	19	15	16
φ_i	31	25	35	20	36
f_i	2.6	2.6	3.7	4.7	4.4

Оптимальные стратегии акторов

R	Вектор софинансирования акторов	Реализуемые проекты
15	(*; *; *; *; 1)	{5}
30	(0; *; *; *; 0)	{1;5}
45	(0; *; 2; *; 0)	{1;3;5}
60	(0; *; 1; 1; 0)	{1;3;4;5}
75	(0; 0; 0; *; 0)	{1;2;3;5}



Параметрические зависимости целевых функций Центра для различных механизмов управления

Заключение: *выводы и перспективы*

Результаты:

- Предложен подход к анализу потенциала УИР пойменных СПХС, на основе
 - комплекса гидротехнических проектов для минимизации неустойчиво затопляемых территорий;
 - комплекса социально-экономических проектов и механизмов управления социоэкономическим освоением новых территорий;
 - комплекса механизмов , обеспечивающих инклюзивность развития.
- Подход обеспечивается комплексом математических моделей и алгоритмов, реализованных в программно-математическом комплексе «ЭКОГИС».
- Основные элементы подхода реализованы для СПХС северной части Волго-Ахтубинско поймы.

Перспективы:

- Математическое моделирование проектов и механизмов гидрологической безопасности пойменных СПХС.
- Углубленный эконометрический анализ комплекса проектов и механизмов УИР пойменных СПХС

**Спасибо за
внимание**



Красная книга России: орлан-белохвост
24 гнездовья в ВАП из 150 в России