

УДК 519.6 + 519.8
ББК 22.19+20.1

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГО-
ЭКОНОМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЕЙ
ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ НА ОСНОВЕ
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО И
ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Воронин А. А.¹, Васильченко А.А.,² Писарева М.В.,³
Писарев А.В.,⁴ Храпов С.С.⁵**

(Волгоградский государственный университет, Волгоград)

Предложена система эколого-экономического управления территорией Волго-Ахтубинской поймы, построенная на основе гидродинамического и геоинформационного моделирования. Проведен анализ альтернатив пространственного распределения работ по проекту восстановления русел Волго-Ахтубинской поймы. Получены характеристики ожидаемой эффективности проекта в зависимости от пространственно-

¹ Александр Александрович Воронин, доктор физико-математических наук, профессор (voronin.prof@gmail.com).

² Анна Анатольевна Васильченко, старший преподаватель (aavasilchenko@mail.ru).

³ Мария Владимировна Писарева, аспирант (m.eliseeva.vlg@gmail.com).

⁴ Андрей Владимирович Писарев, кандидат физико-математических наук, доцент (andrew.pisarev@gmail.com).

⁵ Сергей Сергеевич Храпов, кандидат физико-математических наук, доцент (xss-ip@mail.ru).

го распределения работ и параметров паводкового гидрологического режима.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, гидрологический режим, гидрограф, цифровая модель рельефа, Волго-Ахтубинская пойма.

1. Введение

Волго-Ахтубинская пойма (ВАП) – уникальное природное образование (протяженность около 450 км, территория – свыше 20 тыс. кв. км), жизнь которого полностью определяется весенним паводком р. Волга. Волжский гидрокаскад и, в особенности, Волжская ГЭС (ВГЭС) регулируют, подчиненный интересам гидроэнергетики сток воды, характеристикой которого стало увеличение объема меженного стока за счет значительно сокращения паводкового, что явилось причиной прогрессирующей деградации русел и обезвоживания ВАП [5]. Другим следствием паводковой деградации стало активное социохозяйственное развитие территории, усилившее эту негативную тенденцию. Разработка и внедрение механизмов эколого-экономического управления хозяйствующими субъектами СПХС требует разделения эффектов природной и антропогенной динамики, вычленения вклада каждого из агентов и определения ущерба в пространственно распределенной высокодинамичной неустойчивой природной системе ВАП.

2. Комплексная модель эколого-экономического управления социоприродохозяйственной системой «Волжская ГЭС – Волго-Ахтубинская пойма».

Задача синтеза системы эколого-экономического управления пространственно распределенной высокодинамичной слабоустойчивой многоструктурной и многоагентной системой с высоким уровнем техногенной опасности, социальной и экологической

гической значимости требует междисциплинарного подхода, интегрирующего парадигмы жесткого и мягкого моделирования

Проектируемая комплексная модель в настоящее время включает в себя следующие модели и программные комплексы [3,4,6-9]:

- цифровая модель рельефа (ЦМР) - построение и поддержка в актуальном состоянии цифровых карт рельефа и дна гидросистемы, антропогенных объектов на территории ВАП на основе ГИС-технологий, моделирование проектов их изменения;
- численные гидродинамические модели динамики поверхностных вод в ВАП в широком диапазоне параметров;
- аналитические модели агрегированных параметров рельефа, гидросистемы, динамики затопления территории ВАП;
- модели многокритериальной оптимизации паводкового гидрографа ВГЭС;
- модели оптимизации пространственно распределенных русловосстановительных и гидротехнических проектов;
- модели природосберегающей урбанизации ВАП;
- модели экспертного оценивания гидрологического риска;
- модели когнитивного анализа проблемных ситуаций;
- сценарно-имитационные модели управляемой социопророхозийственной динамики;
- модели синтеза оптимальных механизмов эколого-экономического управления.

Поскольку состояние экосистемы ВАП определяет паводковый гидрологический режим, его численное моделирование является основой проектируемой системы, поставляя распределенные и агрегированные данные всем моделям комплекса. В связи с большой вычислительной сложностью гидродинамического моделирования паводковых затоплений на первом этапе многокритериальной оптимизации паводкового гидрографа ВГЭС используются построенные на основе результатов гидродинамических расчетов аналитические агрегированные модели.

Моделируемые сценарии развития территории ВАП определяются, с одной стороны, внешними условиями: динамикой водостока р. Волги, темпами деградации пойменной экосисте-

мы, социально-экономической динамикой хозяйствующих субъектов и рекреационной активности населения региона, с другой – управленческими решениями (выделение территорий и финансирование социохозяйственной, природовосстановительной и природоохранной деятельности, управление паводковым гидрографом ВГЭС, разработка и реализация механизмов эколого-экономического управления хозяйствующими субъектами, региональное экологическое законодательство).

На рис.1 приведен знаковый граф, описывающий структуру управляемой динамики СПХС. Штриховыми стрелками отмечены управляющие действия Центра и компенсаторные действия хозяйствующих субъектов (агентов) в проектируемых механизмах эколого-экономического управления. Негативными действиями агентов считаются отклонения от планового паводкового гидрографа, изменения рельефа и гидросистемы, сверхнормативное водопотребление, компенсаторными – финансирование пространственно распределенных природовосстановительных проектов, эффективность которых существенным образом зависит от паводкового гидрографа и изменяемого социально-экономическим развитием рельефа территории. Это обстоятельство обуславливает реализуемость и эффективность механизмов управления экологической эффективностью гидрографа ВГЭС, природовосстановительных и урбанизационных проектов.

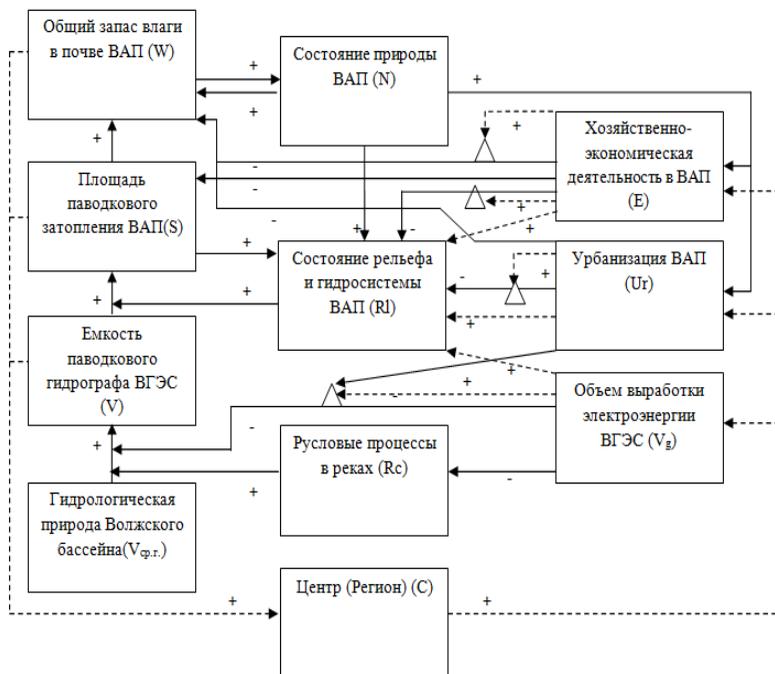


Рис. 1. Структура управляемой социоприродохозяйственной динамики ВАП.

3. Структуризация территории ВАП на основе геоинформационной модели ее рельефа.

Для численного гидродинамического моделирования паводковых затоплений ВАП была построена цифровая модель рельефа (ЦМР) ВАП $b(x,y)$. При ее построении использовались данные дистанционного зондирования Земли, лоции и собственные данные GPS-измерений. Основой ЦМР служили спутниковые данные ASTER [11] и SRTM [10] с разрешением до 20 м в плоскости Земли и до 0.5 м по вертикали. Спутниковые программы Landsat позволяют получить актуальные данные высо-

кого разрешения (15-30 метров/пиксель). Добавление объектам атрибутивной информации проводилось с использованием топографической карты 1:50000 открытого пользования. Модель речного дна строилась по данным лоций [1] и экспедиционных исследований [2]. Карта пойменных русел строилась совместной векторизацией топографических и лоцманских карт русел ВАП, Волги и Ахтубы. Полученная карта гидросистемы накладывалась на модель рельефа местности. Актуализация ЦМР (дополнения, уточнения, учет природных и антропогенных изменений) производится ежегодно с использованием регулярно обновляемых космических снимков, размещенных на сайте геологической службы США в открытом режиме (спутник ДЗЗ Landsat 8). Актуализация рельефа русел в критических для затопления зонах ВАП, через которые происходит поступление воды на ее территорию, производится ежегодно с помощью GPS-измерений границ паводковых затоплений. Векторная карта северной части ВАП 2014 года включает в себя слой гидросистемы, состоящий из 1542 русловых объектов общей протяженностью 887 км, слой инфраструктуры, включающий в себя 118 населенных пунктов, и слой рельефа местности, включающий более 15 тыс. объектов.

Основой территориальной структуры ВАП, необходимой для функционирования системы эколого-экономического управления, является ее гидрологическая структура. Визуальный анализ картографических данных позволил выявить на территории северной части поймы три водотока, образующих магистральную гидросистему: р. Волга, р. Ахтуба и ерик Гнилой (Пахотный). Из магистральных русел берут начало соответственно 14, 15 и 57 русел – входов на ее территорию (рис. 2). Эти русла, практически равномерно (с интервалом в 1,5-2 км) распределенные вдоль магистральных водотоков, подвергаются дальнейшему ветвлению на территории ВАП, образуя, таким образом, 86 гидросистем второго уровня и соответствующих им территориальных зон со средней площадью 8,62 км². Границы 20 зон северной части ВАП, русловые системы которых соединены с р. Ахтуба и ериком «Пахотный» приведены на рис.3. Эти зоны являются естественной основой построения альтернатив

пространственной реализации проектов русловосстановления. Пересечение этих зон с зонами социально-экономической и экологической значимости позволяет построить территориальную основу структуры гидрологических ущербов.



Рис. 2. Вид северной части территории ВАП поймы с отмеченными русловыми входами на территорию.

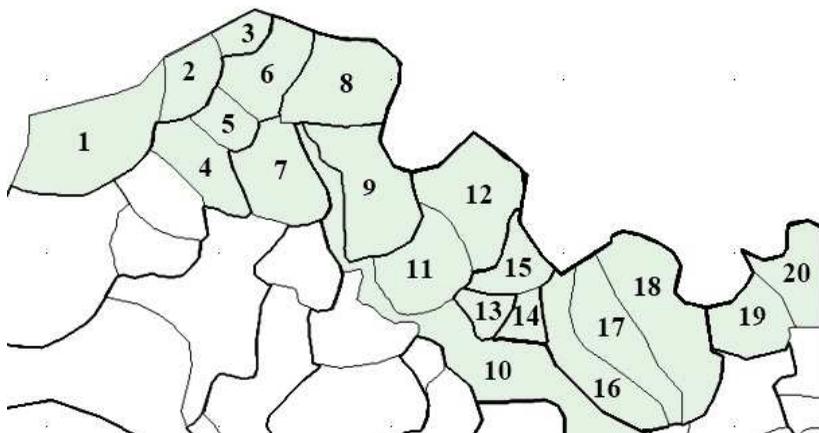


Рис. 3. Карта русловых зон северной части ВАП.

4. Модель паводкового гидрографа.

Режим ппуска воды ВГЭС задается функцией расхода (гидрографом) $Q(t)$. Паводковые гидрографы нескольких последних лет приведены на рис.4, из которого видно, что в них можно выделить два постоянных участка, характеризующих соответственно этап затопления территории с относительно большой постоянной величиной расхода Q и этап постепенного освобождения территории от паводковых вод с меньшим постоянным значением Q . Для проведения настоящего исследования использовалась только первая ступень гидрографа.

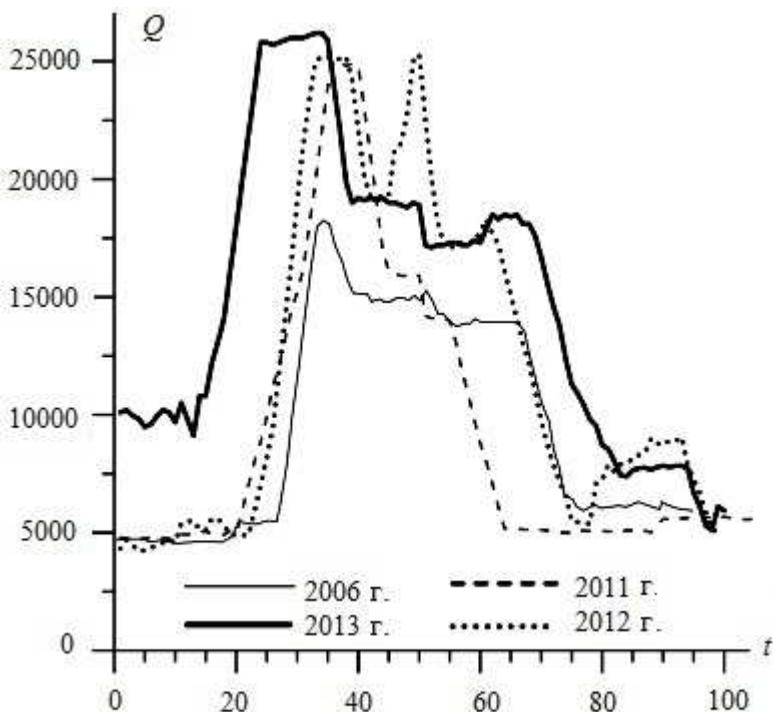


Рис. 4. Паводковые гидрографы $Q(t)$ м³/с ВГЭС. На оси t отмечены дни паводка.

4. Оптимизация пространственного распределения русловосстановительных работ в ВАП.

Математической моделью оптимизации проекта восстановления русел является задача условной максимизации (общей величины или проектного приращения) площади (общей или выделенной каким-либо образом части) территории паводкового затопления $S(Q, t, b(x, y))$ при заданных (средних, минимальных, целевых и т.п.) значениях параметров первой ступени паводкового гидрографа (Q, t) . Пространственно распределенной переменной оптимизации является функция ЦМР $b(x, y)$.

Содержанием работ по изменению рельефа может быть восстановление естественных или прокладка искусственных русел, создание или ликвидация протяженных объектов на территории. Ввиду практической невозможности тотального мониторинга рельефа и натурных экспериментов единственным способом поиска и анализа альтернатив пространственного распределения проектных работ является геоинформационное и гидродинамическое моделирование. Пространственная распределенность системы в сочетании с технически и финансово обусловленной локализацией работ требуют выделения конечного числа альтернатив.

Эмпирический анализ ЦМР и русловой структуры ВАП позволил выявить следующие альтернативные стратегии, ориентированные на различные группы восстанавливаемых объектов: магистральные водотоки, русла-входы на территорию ВАП, русловые системы (зоны), отдельные русла, русла заданных территорий, антропогенные препятствия паводковым затоплениям. Выбору из множества стратегий должен предшествовать анализ их оптимальности, базирующийся в свою очередь на оптимизации пространственного распределения работ в рамках каждой из них в зависимости от параметров проекта и гидрологического режима. В настоящей работе исследуется оптимальность стратегии восстановления русловых систем, порожденных русловыми входами на территорию ВАП, или, другими словами, – «зонной» стратегии.

Для решения задачи проводилась серия компьютерных имитаций паводкового затопления ВАП, заключающихся в численном интегрировании уравнений динамики поверхностных вод (соответствующая гидродинамическая модель и результаты ее применения подробно описаны в [3, 6-9]) для различных цифровых рельефов местности северной части ВАП, отличающихся высотами дна русел выбранных зон. Значительное (в сотни раз) снижение вычислительной сложности задачи моделирования динамики поверхностных вод в ВАП, находящейся на пределе возможностей современных супер-ЭВМ, было достигнуто распараллеливанием вычислительных процедур.

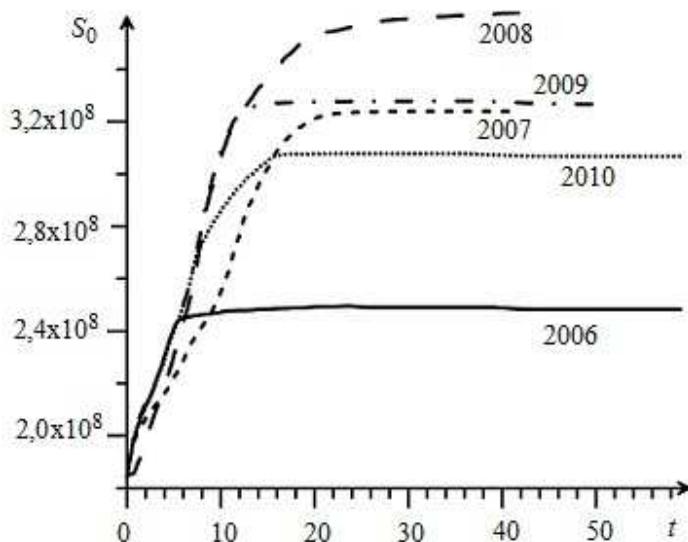


Рис. 5. Временная зависимость S_0 (м^2) для всей северной части ВАП ($[t] = \text{сутки}$).

На рис.5 показан вид функции площади паводкового затопления территории ВАП $S_0(t)$ с момента начала попуска воды по результатам расчетов с использованием плановых гидрографов в период 2006-2010г.г.

5. Организация численных экспериментов

Главной задачей настоящего исследования являлось построение зависимости результативности проекта от объема финансовых ресурсов при наиболее эффективном пространственном распределении работ в рамках «зонной» стратегии. Для этого необходимо было провести упорядочение зон ВАП по результативности работ $\Delta S_i = S_{i1} - S_{i0}$ (S_{i1} – площадь затопленной территории зоны i после восстановления русел, S_{i0} – до восстановления) при различных значениях параметров первой ступени паводкового гидрографа Q и t . Дополнительным параметром являлась одинаковая для всех зон длина расчищаемого русла. Величина затрат R считалась пропорциональной объему

вынутаго грунта V . Вследствие пространственной однородности русловой системы считалось справедливым равенство $V = l \cdot z \cdot L$, где l – ширина русла, z – глубина расчистки, L – суммарная длина расчищенных русел.

Первой задачей исследования стал поиск оптимальной глубины расчистки русел z^* , доставляющей при фиксированных значениях R, Q, t максимум функции ΔS . Результаты расчетов показали одинаковый характер зависимости ΔS от z при различных Q, R и t . Результаты расчетов для $z \cdot L = 1000$, $t = 10$ и различных Q представлены на рис.6, показывающего, что оптимальным является значение $z^* = 1$ м, которое использовалось в дальнейших экспериментах.

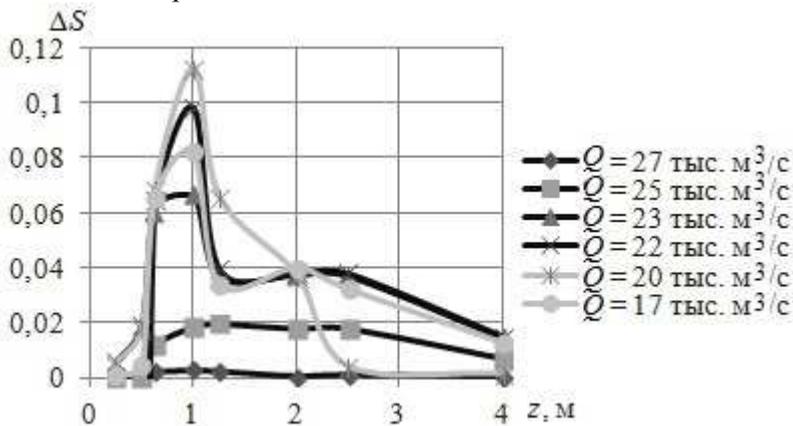


Рис. 6. Зависимость приращения относительной площади наводкового затопления проекта от глубины расчистки русел для различных гидрографов.

На рисунках 7-9 представлена динамика затопления зон ВАП при $Q = 17, 20, 23 \text{ м}^3/\text{с}$, отвечающих низким и средним значениям гидрографов. Для наглядности здесь и далее приведены результаты анализа для 20 из 86 зон.

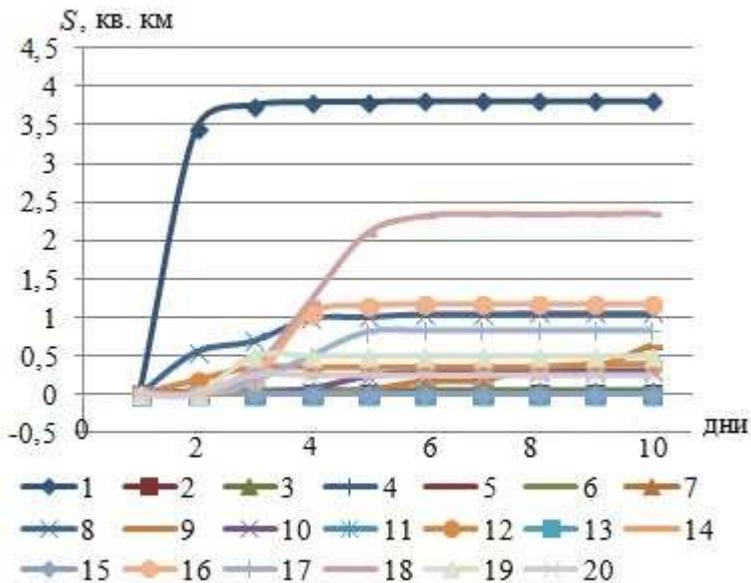


Рис.7. Динамика затопления зон ВАП для $Q = 17$ тыс. м³/с.

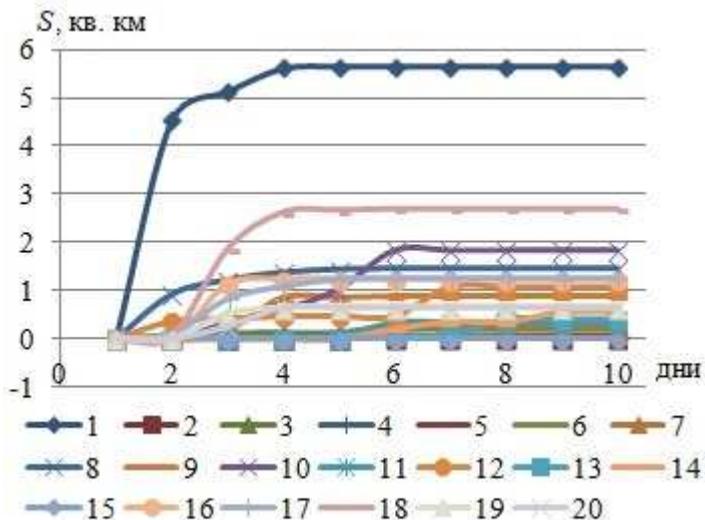


Рис.8. Динамика затопления зон ВАП для $Q = 20$ тыс. м³/с.

Сравнивая динамику затопления каждой из зон на рис.6-8, можно заключить, что в целом она повторяет динамику затопления всей северной части территории ВАП (рис.4).

Во всех зонах с ростом Q растет отношение площади затопления к объему паводка $V=Qt$. Различия в динамике зонного затопления связаны с характеристиками их рельефа и гидросистемы.

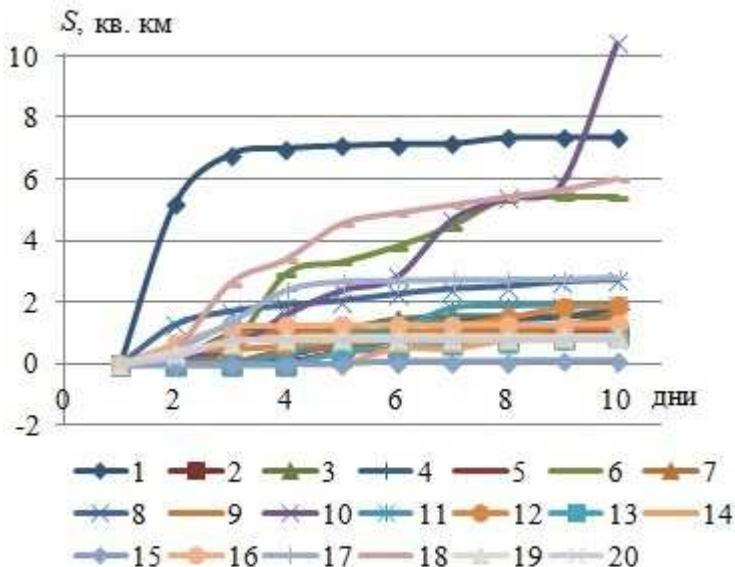


Рис. 9. Динамика затопления зон ВАП для $Q = 23$ тыс. m^3/s .

На рис.10-15 представлены результаты расчета динамики $\Delta Si(t)$ ($i=1, \dots, 20$) в результате углубления русел. Расчеты проводились для двух значений длины L восстановленных русел каждой из зон – 1км и 2км.

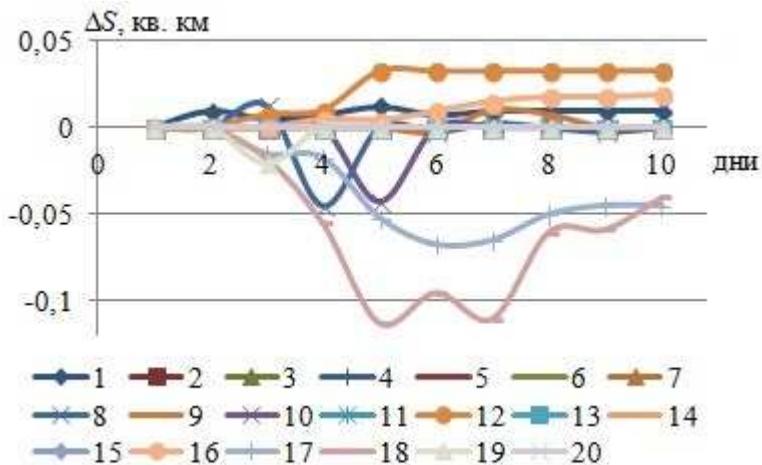


Рис.10. Приращение площади затопления зон при $Q = 17$ тыс. m^3/c и $L = 1$ км

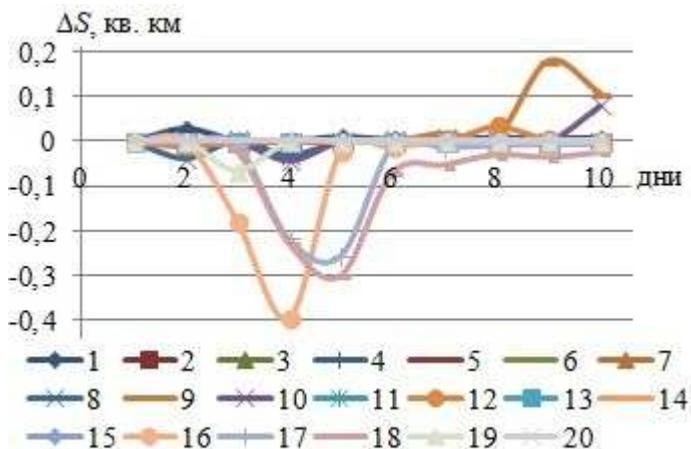


Рис.11. Приращение площади затопления зон при $Q = 17$ тыс. m^3/c и $L = 2$ км.

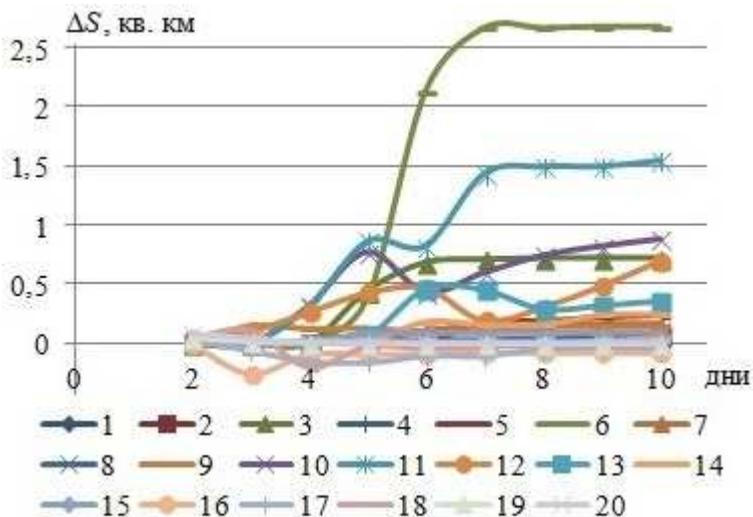


Рис.12. Приращение площади затопления зон при $Q = 20$ тыс. m^3/c и $L = 1 км$

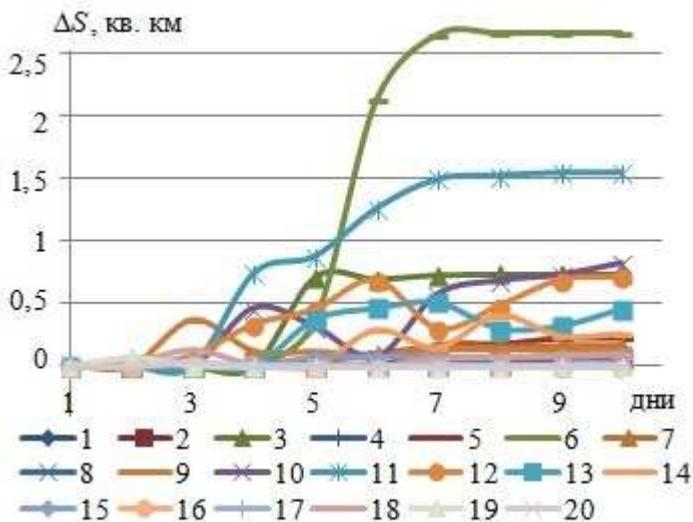


Рис.13. Приращение площади затопления зон при $Q = 20$ тыс. m^3/c и $L = 2 км$.

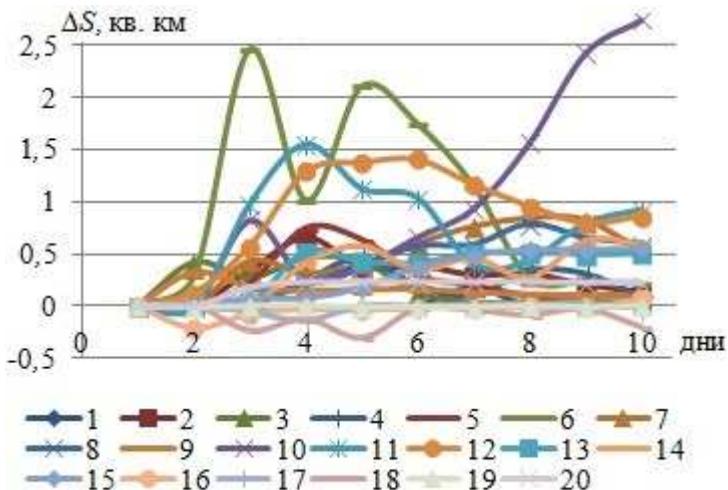


Рис.14. Приращение площади затопления зон при $Q = 23$ тыс. m^3/c и $L= 1км.$

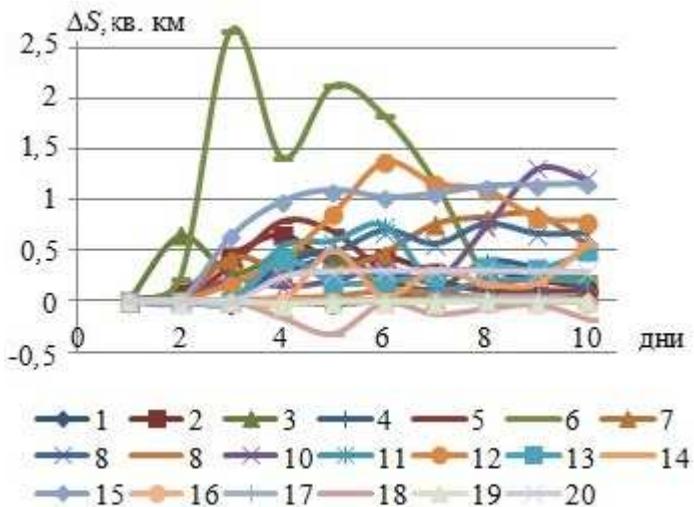


Рис.15. Приращение площади затопления зон при $Q = 23$ тыс. m^3/c и $L= 2км.$

6. Анализ результатов.

Представленные рисунки демонстрируют общую тенденцию начального роста и последующей стабилизации или уменьшения величин $\Delta Si(t)$. Различия состоят в амплитудах и временной локализации динамических процессов. При $Q = 17$ тыс. м³/с в отдельных зонах (с номерами 8, 10, 16, 17, 18) наблюдаются отрицательные приращения площади затопления, растущие по абсолютному значению с увеличением длины восстановленных русел, что показывает доминирование роста локализации объема паводковых вод в углубленных руслах над ростом площади затопления территории. С увеличением Q это доминирование исчезает. В то же время анализ рисунков показывает нерегулярный характер зависимости результативности проекта от переменной t для многих зон.

Полученные результаты позволяют получить упорядочения зон по ожидаемому значению ΔSi зависимости от параметров L , Q , t . В следующих таблицах приведен рейтинг приоритетности зон по результативности проекта. В них указано порядковое место каждой зоны для $t=3;6;9$ дней, итоговые сумма мест за 3 измерения и рейтинг R для $Q = 17; 20; 23$ тыс. м³/с и $L=1;2$ км.

Таблица 1. Рейтинг зон по ожидаемой эффективности проекта по дням паводка, сумма мест Σ итоговый рейтинг R для $Q = 17$ тыс. m^3/c и $L=1$ км и 2 км.

дни	3	6	9	Σ	R	3	6	9	Σ	R
	L=1 км					L=2 км				
1	1	2	2	5	1-2	1	1	2	4	1
2	4	4	4	12	5-17	1	2	4	7	4-15
3	4	4	4	12	5-17	1	2	4	7	4-15
4	4	4	4	12	5-17	1	2	4	7	4-15
5	4	4	4	12	5-17	1	2	4	7	4-15
6	4	4	4	12	5-17	1	2	4	7	4-15
7	4	4	4	12	5-17	1	2	4	7	4-15
8	2	4	4	10	3-4	1	2	4	7	4-15
9	4	4	4	12	5-17	1	2	1	4	2
10	4	4	4	12	5-17	1	2	4	7	4-15
11	4	4	4	12	5-17	1	2	4	7	4-15
12	3	1	1	5	1-2	1	2	3	6	3
13	4	4	4	12	5-17	1	2	4	7	4-15
14	4	4	4	12	5-17	1	2	4	7	4-15
15	4	4	4	12	5-17	1	2	4	7	4-15
16	4	3	3	10	3-4	2	2	5	9	19-20
17	5	5	4	14	19	1	3	5	9	19-20
18	5	5	5	15	20	1	3	4	8	16-18
19	5	4	4	13	18	2	2	4	8	16-18
20	4	4	4	12	5-17	1	3	4	8	16-18

Таблица 2. Рейтинг зон по ожидаемой эффективности проекта по дням паводка, сумма мест Σ итоговый рейтинг R для $Q = 20$ тыс. m^3/c и $L=1$ км и 2 км.

дни	3	6	9	Σ	R	3	6	9	Σ	R
зоны	1 км					2 км				
	1	7	13	16	36	16	9	13	16	38
2	7	11	12	30	12	9	11	14	34	16
3	7	3	3	13	4	9	3	4	16	4
4	7	13	16	36	17	9	13	16	38	18-20
5	7	13	8	28	10	9	13	8	30	11
6	7	1	1	9	1	9	1	1	11	1
7	7	8	9	24	9	9	7	9	25	9
8	8	12	14	34	15	9	12	11	32	13
9	1	9	10	20	7	1	8	10	19	6
10	7	6	6	19	6	9	10	3	22	7
11	7	2	2	11	3	9	2	2	13	3
12	2	4	4	10	2	3	4	5	12	2
13	5	5	5	15	5	7	5	6	18	5
14	7	7	7	21	8	9	6	7	22	8
15	7	10	11	28	11	9	9	13	31	12
16	8	14	17	39	20	6	13	16	35	17
17	8	14	16	38	19	5	13	15	33	14-15
18	3	14	15	32	13	2	13	12	27	10
19	6	14	16	36	18	8	14	16	38	18-20
20	4	13	16	33	14	4	13	16	33	14-15

Таблица 3. Рейтинг зон по ожидаемой эффективности проекта по дням паводка, сумма мест Σ , итоговый рейтинг R для $Q = 23$ тыс. м³/с и L=1км и 2 км.

дни	3	6	9	Σ	R	3	6	9	Σ	R
зоны	1 км					2 км				
1	15	16	17	48	15-18	12	16	17	45	17
2	6	8	12	26	7	3	7	11	21	7
3	7	15	15	37	13-14	6	13	15	34	13
4	14	13	9	36	12	12	11	6	29	10
5	8	11	13	32	11	5	9	13	27	9
6	1	1	10	12	4-5	1	1	9	11	2
7	5	5	2	12	4-5	4	6	3	13	3
8	12	6	5	23	6	9	5	5	19	6
9	9	14	14	37	13-14	10	14	16	40	15
10	3	4	1	8	1-2	7	8	1	16	5
11	2	3	3	8	1-2	12	4	10	26	8
12	4	2	4	10	3	8	2	4	14	4
13	13	7	8	28	9	12	12	7	31	12
14	14	10	6	30	10	12	15	12	39	14
15	11	9	7	27	8	2	3	2	7	1
16	15	18	17	50	19-20	12	18	17	47	18
17	15	17	16	48	15-18	12	17	14	43	16
18	15	18	17	50	19-20	11	19	18	48	19-20
19	14	17	17	48	15-18	12	19	17	48	19-20
20	10	12	11	48	15-18	12	10	8	30	11

Таблица 4. Средний по дням затопления рейтинг зон по ожидаемой эффективности проекта.

зоны	Q =17		Q=20		Q=23	
	1 км	2 км	1 км	2 км	1 км	2 км
1	1-2	1	16	18-20	15-18	17
2	5-17	4-15	12	16	7	7
3	5-17	4-15	4	4	13-14	13
4	5-17	4-15	17	18-20	12	10
5	5-17	4-15	10	11	11	9
6	5-17	4-15	1	1	4-5	2
7	5-17	4-15	9	9	4-5	3
8	3-4	4-15	15	13	6	6
8	5-17	2	7	6	13-14	15
10	5-17	4-15	6	7	1-2	5
11	5-17	4-15	3	3	1-2	8
12	1-2	3	2	2	3	4
13	5-17	4-15	5	5	9	12
14	5-17	4-15	8	8	10	14
15	5-17	4-15	11	12	8	1
16	3-4	19-20	20	17	19-20	18
17	19	19-20	19	14-15	15-18	16
18	20	16-18	13	10	19-20	19-20
19	18	16-18	18	18-20	15-18	19-20
20	5-17	16-18	14	14-15	15-18	11

На основе полученных рейтингов были построены приведенные на рисунках 16-21 графики зависимости максимальной результативности проекта от совокупной длины восстановленных русел (пропорциональной величине финансового ресурса) в рамках «зонной» стратегии для различных значений параметров Q, t, L .

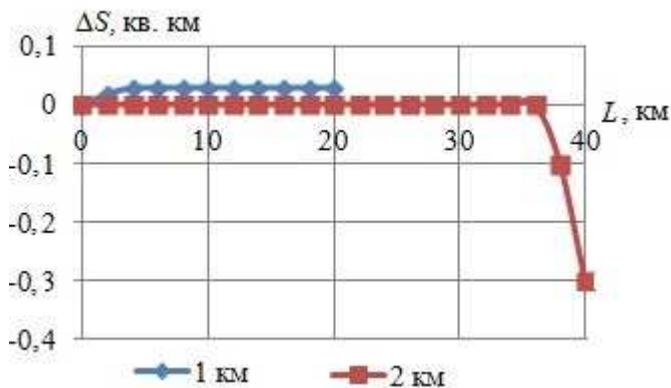


Рис.16. Общее приращение площади затопления 20 зон при $Q = 17$ тыс. m^3/c , $t=3$ дня, $L= 1$ км.

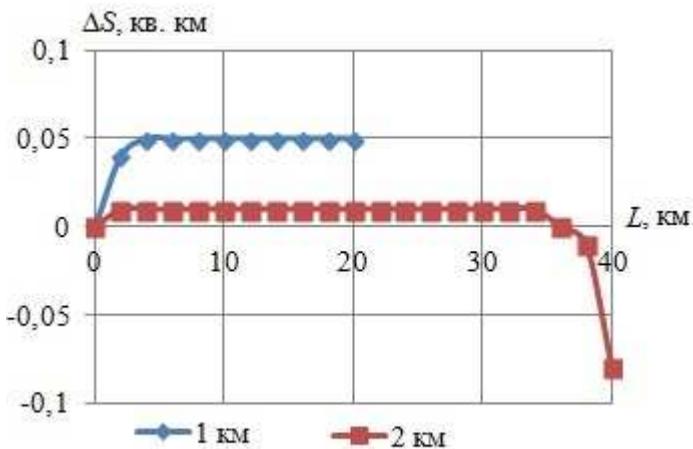


Рис.17. Общее приращение площади затопления 20 зон при $Q = 17$ тыс. m^3/c , $t=6$ дней, $L= 1$ км.

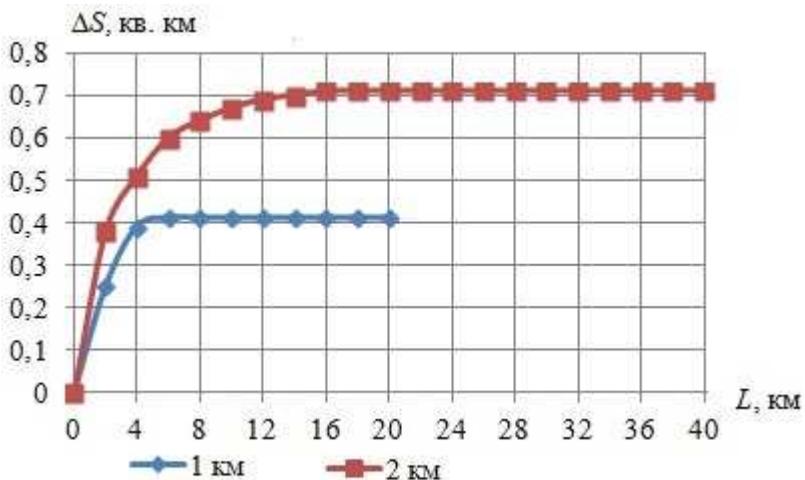


Рис.18. Общее приращение площади затопления 20 зон при $Q = 20$ тыс. м³/с, $t=3$ дня, $L= 1$ км.

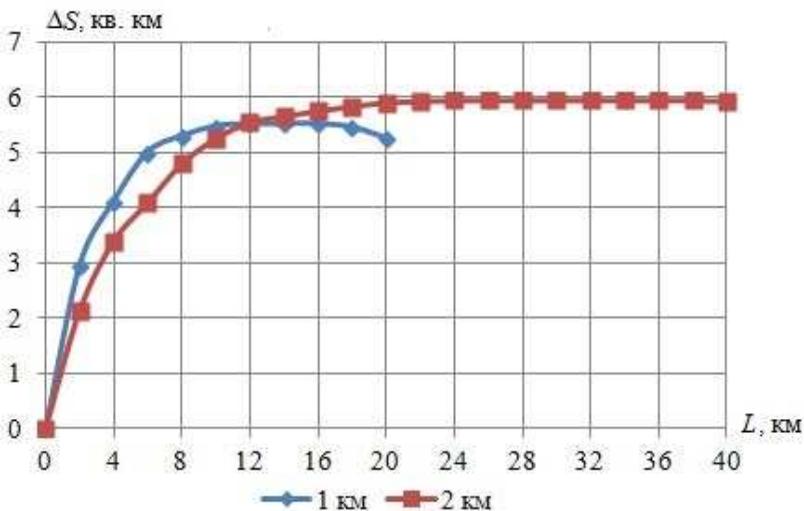


Рис.19. Общее приращение площади затопления 20 зон при $Q = 20$ тыс. м³/с, $t=6$ дней, $L= 1$ км.

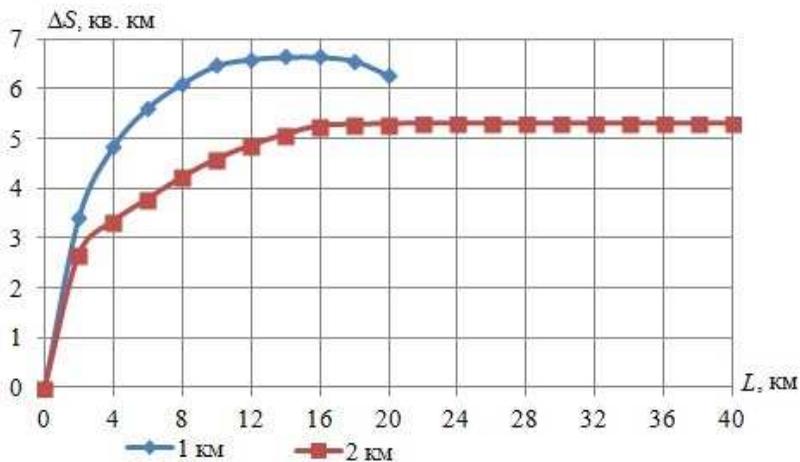


Рис.20. Общее приращение площади затопления 20 зон при $Q = 23$ тыс. m^3/s , $t=3$ дня, $L= 1$ км.

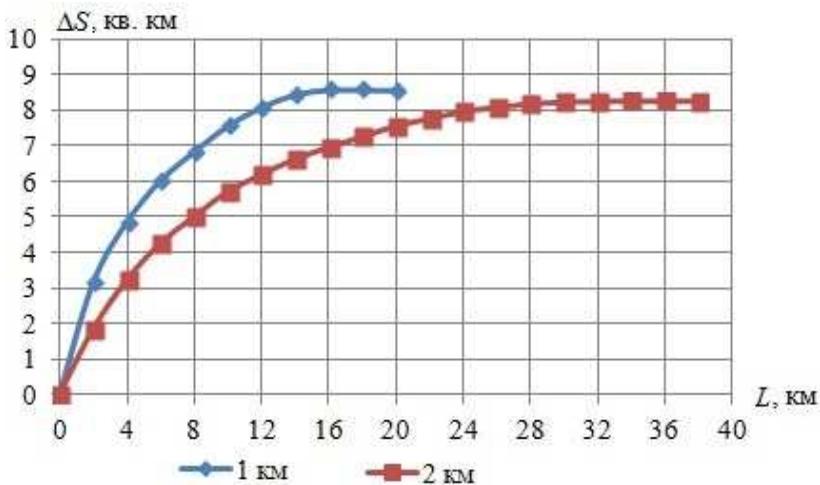


Рис.21. Общее приращение площади затопления 20 зон при $Q = 23$ тыс. m^3/s , $t=6$ дней, $L= 1$ км.

7. Заключение.

Полученные результаты могут служить основой принятия решений как о территориальной локализации работ по проекту в рамках «зонной» стратегии, так и о сравнительной эффективности самой «зонной» стратегии. Как показали расчеты, эффективное пространственное распределение работ существенным образом зависит от параметров паводкового гидрографа Q, t , определяющих наряду с состоянием русел площадь паводкового затопления территории ВАП. Это свидетельствует об актуальности комплексной оптимизации гидрологического режима в контексте задачи эколого-экономического управления.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РГНФ 14-12-34019 (комплексная модель эколого-экономического управления, оптимизация проекта русловостановления), гранта РФФИ 13-01-97062 (математическая модель динамики поверхностных вод), гранта РФФИ 14-17-97030 (использование ГИС для актуализации цифровой модели рельефа), гранта РФФИ 13-07-97056 (использование программного комплекса моделирования динамики поверхностных вод).

Литература

1. *Атлас единой глубоководной системы Европейской части РФ. Т.7: Река Волга. От Волгоградского гидроузла до Астрахани.* СПб.: Б.и., 2009. 34 л.
2. БАРМИН А.Н., ГОЛУБ В.Б., ИОЛИН М.М. и др. *Индикация изменений условий среды в северной части ВАП при использовании шкал Л.Г. Раменского и ДСА-ординации* // Геодезия и аэросъемка. – 2010. – №5. – С. 21–24.
3. ВОРОНИН А.А., ЕЛИСЕЕВА М.В., ПИСАРЕВ А.В. и др. *Имитационные модели динамики поверхностных вод с использованием данных дистанционного зондирования: влияние рельефа местности* // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2012. – №3(19). – С. 54–62.
4. ВОРОНИН А.А., ЕЛИСЕЕВА М.В., ХРАПОВ С.С. и др. *Задача управления гидрологическим режимом в эколого-экономической системе «Волжская ГЭС – Волго-*

- Ахтубинская пойма». Ч 2. Синтез системы управления // Проблемы управления. – 2012. – №6. – С. 19–25.*
5. ЗЕМЛЯНОВ И.В., ГОРЕЛИЦ О.В., ПАВЛОВСКИЙ А.Е. и др. *Анализ экологических последствий эксплуатации Волгоградского водохранилища для сохранения биоразнообразия основных водно-болотных территорий Нижней Волги // Отчет о НИР ФГУ «ГОИН», 2010. – 675 с.*
 6. ХОПЕРСКОВ А.В., ХРАПОВ С.С., ПИСАРЕВ А.В. и др. *Задача управления гидрологическим режимом в эколого-экономической системе «Волжская ГЭС-Волго-Ахтубинская пойма». Ч. 1. Моделирование динамики поверхностных вод в период весеннего паводка // Проблемы управления. – 2012. – №5. – С. 18–25.*
 7. ХОПЕРСКОВ А.В., ХРАПОВ С.С., ПИСАРЕВ А.В. *Прямое моделирование динамики поверхностных вод на территории Волго-Ахтубинской поймы // Суперкомпьютерные технологии в науке, образовании и промышленности. – 2012. – С. 177–181.*
 8. ХРАПОВ С.С., ПИСАРЕВ А.В., ВОРОНИН А.А. *Особенности динамики затопления Волго-Ахтубинской поймы в зависимости от режимов испарения и инфильтрации // Вестник ВолГУ., Серия 1: Математика. Физика. – 2012. – Т. 15, №1.5. – С. 36–42.*
 9. KHRAPOV S., PISAREV A., KOBELLEV I. ETC. *The Numerical Simulation of Shallow Water: Estimation of the Roughness Coefficient on the Flood Stage // Advances in Mechanical Engineering. – 2013. – Vol. 2013. – Article ID 787016. – 11 p.*
 10. RABUS B., EINEDER M., ROTH A., ETC. *The shuttle radar topography mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2003. Vol. 57(4). P. 241–262.*
 11. SUWANDANA E., KAWAMURA K., SAKUNO Y. ETC. *Thematic information content assessment of the ASTER GDEM: A case study of watershed delineation in West Java, Indonesia // Remote Sensing Letters. 2012. Vol. 3(5). P. 423–432.*

PLANNING OF SYSTEM OF ECOLOGO-ECONOMIC MANAGEMENT IN VOLGA-AKHTUBA FLOODPLAIN ON BASIS OF HYDRODYNAMIC AND GIS DESIGN

Alexandr Voronin, Volgograd State University, Volgograd, Doctor of Science, professor (voronin.prof@gmail.com).

Anna Vasilchenko, Volgograd State University, Volgograd, Senior Lecture (aa-vasilchenko@mail.ru).

Maria Pisareva, Volgograd State University, Volgograd, postgraduate (m.eliseeva.vlg@gmail.com).

Andrei Pisarev, Volgograd State University, Volgograd, cand. of Science, associate professor (andrew.pisarev@gmail.com)

Sergey Chrapov, Volgograd State University, Volgograd, cand. of Science, associate professor (xss-ip@mail.ru)

Abstract:

The system of ecologo-economic management offers territory of Volga-Akhtuba floodplain, built on the basis of hydrodynamic and геоинформационного design. The analysis of alternatives of spatial distribution of works is conducted on the project of renewal of riverbeds of Волго-Ахтубинской of поймы. Descriptions of the expected efficiency of project are got depending on spatial distribution of works and parameters of the flood hydrological mode.

Keywords: Computer modeling, Hydrological mode, Hydrograph, Digital terrain model, The Volga-Akhtuba floodplain, cleaning of shallow channels.

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии ... заполняется редактором...

Поступила в редакцию ... заполняется редактором...

Опубликована ... заполняется редактором...