



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

«В о л г о в о д п р о е к т»

(АО «Волговодпроект»)

Свидетельство - СРО Ассоциация «Проектный комплекс «Нижняя Волга»
СРО-П-088-15122009

Заказчик - Комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии
Волгоградской области

Определение границ зон затопления на территории
Волгоградской области

Проектная документация

III этап

Определение границ зон затопления

ГК №4134/18-Т5Ч29

Том 5. Часть 29. Городищенский муниципальный район

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

г. Волгоград 2019 г.



**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«В о л г о в о д п р о е к т»
(АО «Волговодпроект»)**

Свидетельство - СРО Ассоциация «Проектный комплекс «Нижняя Волга»
СРО-П-088-15122009

Заказчик - Комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии
Волгоградской области

**Определение границ зон затопления на территории
Волгоградской области**

Проектная документация

II этап

Определение границ зон затопления

ГК №4134/18-Т5Ч29

Том 5. Часть 29. Городищенский муниципальный район

Генеральный директор

Главный инженер проекта



А.А. Хатько

В.Н. Карлин

г. Волгоград 2019 г.

Оглавление

Глава 1. Описание методов определения.	5
1.1. Определение расчетных уровней горизонтов воды по водотокам Городищенского района гидрометрическим методом	9
1.2. Определение положения зон затопления методом прямого гидродинамического моделирования затопления территорий	9
1.2.1. Построение цифровой модели местности	10
1.2.2. Модель динамики поверхностных вод	13
1.2.3. Основные уравнения	15
1.2.4. Модель источников и стоков воды	17
1.2.5. Численный алгоритм расчета динамики затопления	18
Глава 2. Результаты расчетов зон затопления в окрестности населенных пунктов.	20
2.1 Результаты расчетов гидрометрическим методом.	20
2.2 Результаты расчетов методом прямого гидродинамического моделирования.	21
2.3 Определение местоположения границ зон затопления.	23
2.4 Описание объектов расположенных в границах зон затопления	23
Заключение.	24
Список литературы	25
Графическая часть	31
Обзорная карта Волгоградской области	32
Схема Городищенского района Волгоградской области	33
Карта затопления х. Панышино	34
Карта затопления р.п. Городище	35

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						
						ГК №4134/18-Т5Ч29	Лист	
							4	
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

Глава 1. Описание методов определения.

При определении положения зон затопления по населенным пунктам Волгоградской области, согласно задания на разработку темы, основной задачей является расчет уровней воды по водотокам Волгоградской области в створе населенных пунктов 1%, 3%, 5%, 10%, 25%, 50% обеспеченности стока.

В расчетах использованы нормы годового стока, внутригодового распределения стока, максимальные расходы половодий, гидрографов половодий.

При изучении гидрологического режима водотоков и определении расчетных характеристик стока использован гидрометрический метод определения гидрологических характеристик, который основан на статистической обработке рядов длительных гидрометрических наблюдений, проводимых на сети гидрометеорологических станций и постов.

Перечень гидрометеорологических станций и гидрологических постов на территории Волгоградской области приведен в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 - Перечень гидрологических постов Волгоградской области

№№	Код поста	Название поста	
1	78016	р. Дон - Хованский	
2		р. Дон - Серафимович	
3	78018	р. Дон - Беляевский	Закрит
4	78021	р. Дон - Новогригорьевская	
5	78022	р. Дон - Трехостровская	Закрит в 1996 г. Данные есть.
6	78144	р. Хопер – х. Бесплемяновский	
7	78146	р. Хопер – х. Барминский	
8	78182	р. Бузулук – ст. Преображенская	
9	78185	р. Бузулук – х. Большой Лукьяновский	Закрит
10	78188	р. Кардаил – х. Андреевский	
11	78191	р. Кумылга – х. Ярской	
12	78200	р. Медведица – х. Красный	Временный в половодье
13	78202	р. Медведица – ст. Арчединская	
14	78620	р. Терса – с. Казачка	Закрит
15	78218	р. Терса – пгт Елань	
16	78219	р. Терса – пгт Рудня	Закрит
17	78224	р. Арчеда – х. Нижнянский	
18	78229	р. Иловля – с. Александровка	
19	78231	р. Иловля – х. Боровки	

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

ГК №4134/18-Т5Ч29

Лист

5

№№	Код поста	Название поста	
20	78613	р. Ольховка – с. Клиновка	
21	78234	р. Тишанка х. Кузнецов	
22	78235	р. Панышинка - Панышино	
23	78261	р. Аксай Есауловский - Водянский	
		Цимлянское вдхр.	
24	78024	г. Калач-на-Дону	
25	78910	ст.Ложки	
26	78906	пгт Нижний Чир	
27	78905	х. Суворовский	
28	78912	х. Красноярский	
		Волжский бассейн	
29	77088	ГЭС нижний бьеф	
30	77090	р. Волга - Волгоград	
31	77094	р. Волга – Светлый Яр	
32	77385	р. Ахтуба – Средняя Ахтуба	
33	77386	р. Ахтуба – Ленинск	Временный в половодье
		вдхр. Волгоградское	
34	38012	Камышин	
35	38016	Дубовка	
36	38017	Волжский	
37	77087	ГЭС верхний бьеф	

Таблица 2 - Перечень метеостанций Волгоградской области.

№№	Индекс	Название станции
1	342040	Урюпинск
2	34253	Елань
3	34253	Новоаннинский
4	34262	Рудня
5	34267	Даниловка
6	34352	Михайловка
7	34356	Фролово
8	34357	Серафимович
9	34362	Ольховка
10	34363	Камышин
11	34373	Палласовка
12	34461	Иловля
13	34476	Эльтон

Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

ГК №4134/18-Т5Ч29

Лист

6

№№	Индекс	Название станции
14	34552	Калач-на-Дону
15	34555	Нижний Чир
16	34561	Волгоград СХИ
17	34652	Красноярский
18	34655	Котельниково

Согласно требования СП 33-101-2003 п. 4.3, п. 5.1 по всем гидрологическим постам, перечисленными в таблице 1, в Волгоградском ЦГМС была запрошена специализированная гидрологическая информация за последние 30 лет наблюдений с 1988 г. по 2018 г., а именно:

- максимальные уровни воды;
- максимальные расходы воды;
- слой стока весеннего половодья.

Гидрологические расчеты проводились двумя методами.

Первый метод гидрометрический, основан на требованиях СП33-101-2008.

Второй метод - прямое гидродинамическое моделирование затопления территорий.

Для выполнения гидрологических расчетов, по первому и второму методам на основании рекогносцировочного обследования были определены расчетные морфостворы на р. Панышинка и Мокрая Мечётка.



Рис.1

Взам. инв. №

Подп. и дата

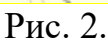
Инв.№подл.

Изм.	Кол.уч.	Лист	Недок.	Подп.	Дата
------	---------	------	--------	-------	------

ГК №4134/18-Т5Ч29

Лист

7



Методической базой для расчетов основных гидрологических характеристик водотоков Городищенского района является СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик», - Госстрой России, Москва, 2003.

- «Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений», - ГУ «ГГИ», Санкт-Петербург, 2005;

- «Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений» - ГУ «ГГИ», Санкт-Петербург, 2009;

- «Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик», - Гидрометеиздат, 1984.

Для определения максимальных уровней воды 3, 5, 10, 25 и 50-процентной обеспеченности (повторяемость 3, 5, 10, 25 и 50 раз в 100 лет) выполнялась обработка рядов многолетних гидрометрических наблюдений за максимальными в половодье слоями стока, уровнями и расходами воды на водомерных постах с целью обоснования аналоговых параметров и характе-

ристик расчетных методов определения максимальных гидрологических характеристик на водотоках при наличии, отсутствии или недостаточности на них данных гидрометрических наблюдений.

Определение расчетных гидрологических характеристик основано на данных гидрометеорологических наблюдений, опубликованных в официальных справочных изданиях Государственного Водного Реестра. Материалы наблюдений за последние годы получены в Волгоградском центре по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал ФБГУ «Северо-Кавказское УГМС».

Расчеты для водотоков при наличии данных гидрометрических наблюдений достаточной продолжительности выполнены с применением аналитических функций распределения ежегодных вероятностей превышения - кривых обеспеченностей. Параметры кривых распределения принимались по методам, давшим наилучшее совпадение с эмпирическими точками.

Продолжительность периода наблюдений считают достаточной, если рассматриваемый период репрезентативен (представителен), а относительная средняя квадратическая погрешность расчетного значения исследуемой гидрологической характеристики не превышает 20 % - для максимального стока.

1.2. Определение положения зон затопления методом прямого гидродинамического моделирования затопления территорий

Методика гидродинамического расчета зон затопления в период весеннего паводка для пойменных участков рек с нерегулируемым стоком.

Для решения задачи задавалось пространственное распределение источников воды в окрестностях населенных пунктов или группы близко расположенных населенных пунктов. Основной источник задавался в русле реки выше населенного пункта по течению. Дополнительные источники задавались в притоках и крупных балках для обеспечения наблюдаемого пространственного распределения зон затопления. Количественные значения объемного расхода $Q(t)$ источников воды для каждого объекта определялись по данным наблюдений. Сначала для временного промежутка $\Delta t = 5-10$ суток задавалось минимальное значение Q_{min} , обеспечивающее меженные значения глубины воды в русле реки и зависящее от параметров русла (ширина, глубина, извилистость, шероховатость). Затем для имитационного моделирования весеннего паводка значение $Q(t)$ каждый день увеличивалось на $\Delta Q(t)$ до Q_{max} .

Построены матрицы высот моделируемого участка местности на основе данных ДЗЗ (дистанционного зондирования Земли) и топографических карт.

Проведено численное гидродинамическое моделирование динамики затопления местности в результате весеннего паводка.

Построены карты распределения глубины воды в зонах затопления. Определены зоны затопления и указанием границ зоны затопления. Проведена оценка общей площади затопления в окрестности населенных пунктов.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	глубины воды в русле реки и зависящее от параметров русла (ширина, глубина, извилистость, шероховатость). Затем для имитационного моделирования весеннего паводка значение $Q(t)$ каждый день увеличивалось на $\Delta Q(t)$ до Q_{max}. Построены матрицы высот моделируемого участка местности на основе данных ДЗЗ (дистанционного зондирования Земли) и топографических карт. Проведено численное гидродинамическое моделирование динамики затопления местности в результате весеннего паводка. Построены карты распределения глубины воды в зонах затопления. Определены зоны затопления и указанием границ зоны затопления. Проведена оценка общей площади затопления в окрестности населенных пунктов.					
			Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

ГК №4134/18-Т5Ч29						Лист
						9

Исходные данные

В качестве исходных данных использовались продольные профили уровней воды в реке Мокрая Мечетка и в реке Панышинка, в меженьный период с шагом не более 5 км и указанием географических координат точек наблюдения; створы на реках в окрестностях населенных пунктов (поперечный профиль рельефа, связь между расходом и обеспеченностью).

Для уточнения модели дна рек Мокрая Мечетка, Панышинка и размеров поймы использовались топографические материалы, выполненные АО «Волговодпроект». К ним относятся поперечные профили рек Мокрая Мечетка, Панышинка в створах населенных пунктов, а также в наиболее характерных местах. Характерными местами относятся резкий поворот русла в плане, резкое сужение русла, наличие в русле побочной и осередков.

Поперечные профили выполнены с учетом наличия поймы.

На основе исходных данных построена цифровая модель местности (ЦМР).

1.2.1. Построение цифровой модели местности

Построение цифровой модели рельефа (ЦМР) для целей гидродинамического моделирования проводилось в несколько этапов на основе исходных данных и данных дистанционного зондирования Земли (SRTM). На рисунке 3 показаны основные этапы построения ЦМР.

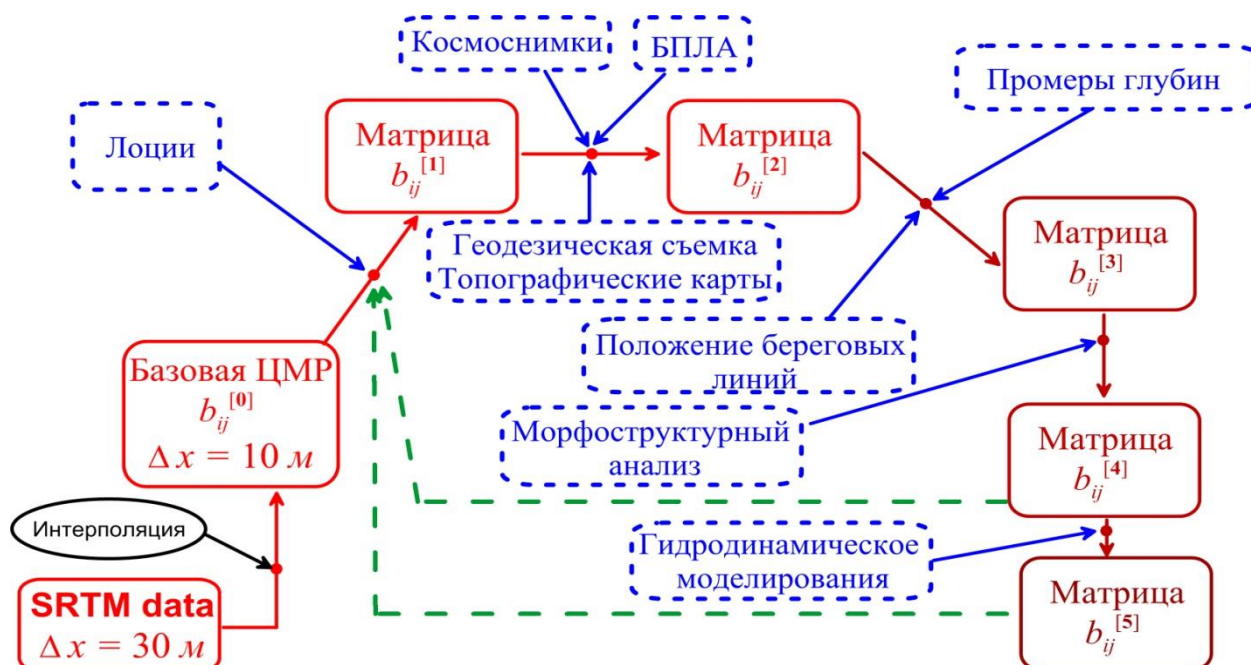


Рис. 3. Этапы и последовательность создания ЦМР.

Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.уч.	Лист	Недок.	Подп.	Дата

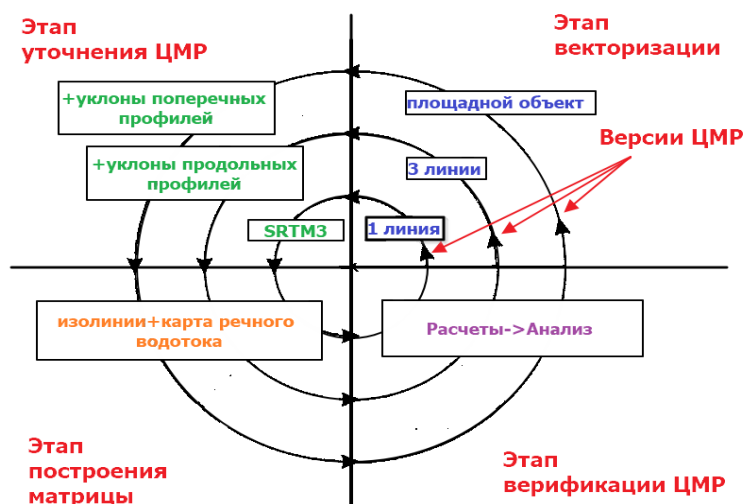


Рис. 4. Модель процесса разработки уточнения ЦМР.

В основе ЦМР лежит матрица высот $b_{ij} = b(x_i, y_j)$, построенная в узлах декартовой системы координат с постоянным шагом $\Delta x = \Delta y$: $x_i = x_0 + i\Delta x$, $y_j = y_0 + j\Delta y$ ($i=1,2,\dots,N_x$, $j=1,2,\dots,N_y$). В качестве исходной матрицы высот использовались данные SRTM3 SRTMGL1 $b_{ij}^{[SRTM]}$. Используя инструментальные средства ГИС «Карта 2011», исходная матрица высот пересчитывается на меньший шаг ($\Delta x = 15$ м или 10 м), с применением средневзвешенной интерполяции по 16 направлениям. Новую матрицу $b_{ij}^{[0]}$ будем называть базовой ЦМР.

После оцифровки и внедрения этих данных в базовую ЦМР $b_{ij}^{[0]}$, получаем матрицу $b_{ij}^{[1]}$.

Особенностью пойменных территорий является сложная система малых русел поймы, так называемых ериков и протоков, которые образуют иерархическую систему русел в пойме. Для учета этой гидрологической системы в ЦМР, использованы космоснимки спутников серии «Ресурс-П» и UK-DMC2, спутниковой группировки DigitalGlobe через сервисы Google Earth для векторизации линейных объектов русловой системы и последующего внедрения в $b_{ij}^{[1]}$. Для актуализации рельефа на некоторых участках дополнительно использовалась съемка с БПЛА и геодезические данные.

Используя данные о динамике береговых линий транзитных водоемов, которые возникают на стадии затопления поймы (апрель–май), с учетом последующего падения уровня воды уточняется ЦМР.

По уточненной ЦМР рассчитывается стандартный набор параметров морфоструктурного анализа [6]: профильную кривизну $k_t(x_i, y_j)$, касательную кривизну $k_s(x_i, y_j)$ и углы наклонов $s(x_i, y_j)$:

$$s = \frac{360^\circ}{2\pi} \arctan \sqrt{f_x^2 + f_y^2}, k_t = \frac{f_{xx}f_y^2 - 2f_{xy}f_xf_y + f_{yy}f_x^2}{p\sqrt{q}}, k_s = \frac{f_{xx}f_y^2 + 2f_{xy}f_xf_y + f_{yy}f_x^2}{p\sqrt{q^3}},$$

$$f_x = \frac{\partial f}{\partial x}, f_y = \frac{\partial f}{\partial y}, f_{xx} = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}, f_{yy} = \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}, f_{xy} = \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}, p = f_x^2 + f_y^2, q = 1 + p.$$

Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.уч.	Лист	Нодок.	Подп.	Дата

де

Пространственные распределения этих величин помогают определить зоны с артефактами, прежде всего, зоны с нарушением гидрологической связности водотоков на ЦМР. Морфоструктурный анализ ЦМР позволяет простыми средствами выявлять возможные ошибки и оперативно исправлять их, возвращаясь на этап построения гидрологической сети [7].

На основе описанного выше метода геоинформационного моделирования с использованием исходных данных и данных ДЗЗ построена итоговая цифровая модель рельефа местности пойменных территорий рек Мокрая Мечетка и Паньшинка.

Для исследования динамики затопления местности во время весеннего паводка использован подход, основанный на прямом гидродинамическом моделировании затопления территорий.

Основные решаемые задачи, реализуемые в данном подходе:

- Определение и уточнение площади водосбора.
- Исследование характерных особенностей водостока.
- Моделирование динамики затопления территорий с учетом различных физических факторов.
- Имитационное моделирование паводков и аварийных ситуаций на гидротехнических сооружениях.
- Прогноз последствий затопления территорий.

Основные факторы, влияющие на динамику затопления:

- Источники воды.
- Рельеф местности с учетом антропогенной застройки территорий и рельефа дна водоемов.
- Свойства подстилающей поверхности — придонное трение, инфильтрация (впитывание воды в грунт).
- Внутреннее вязкое трение и ветровое воздействие.
- Вращение Земли — сила Кориолиса.
- Испарение.

Данные факторы могут быть эффективно учтены в модели мелкой воды, получаемой из уравнений гидродинамики посредством усреднения по вертикальной координате (уравнения Сен-Венана).

В качестве инструмента расчетов использовался программно-аппаратный комплекс «ЭкоГИС», который позволяет:

- проводить моделирование гидродинамических течений в озерах, водохранилищах, реках и каналах с учетом реалистичного рельефа дна, придонного трения, турбулентной вязкости, ветра, инфильтрации, испарения и вращения Земли;

Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист 12
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	ГК №4134/18-Т5Ч29	

- прогнозировать динамику затопления территорий в случае чрезвычайных ситуаций, таких как прорыв плотин (дамб) на водоемах, выпадение обильных (ливневых) осадков, сезонные паводки;
- осуществлять экспертизу проектируемых и существующих гидротехнических сооружений на водных объектах и затопляемых участках суши (заградительных дамб, плотин, мостов, каналов, дренажных коммуникаций) посредством моделирования динамики поверхностных вод и определения зон затопления территорий жилой и производственной застройки;
- определять оптимальные гидрологические режимы затопления пойменных территорий в случае регулируемого стока.

1.2.2. Модель динамики поверхностных вод

Уравнения мелкой воды [1] активно используются для решения самых различных задач динамики поверхностных вод. Предложены их различные модификации, связанные с учетом адвективного переноса [2], с многослойными моделями [3], обобщениями без приближения гидростатического равновесия, допускающие эффективную численную реализацию [4,5].

С формальной точки зрения при переходе от полной трехмерной системы уравнений гидродинамики к уравнениям мелкой воды следует ограничиться достаточно длинноволновыми движениями в отсутствие эффектов дисперсии. Однако боры и гидравлические прыжки иногда достаточно хорошо описываются условиями на разрыве, вытекающими из модели мелкой воды, что отмечалось еще в [6]. На достаточно приемлемое согласие указывает сравнительный анализ с прямыми результатами моделирования [7], а также сравнение с результатами натурных экспериментов [8].

Наибольшее развитие получили гидродинамические модели для описания различных физических процессов на водных объектах [9, 3, 10]. Близкими являются задачи определения структуры течений в водохранилищах и равнинных реках для различных прикладных исследований [11]. При решении задачи динамики поверхностных вод по сухому дну (описание затопления территории [12]) возникают проблемы корректного моделирования границы «вода – сухое дно» [13, 14].

Численные схемы. К настоящему времени разработаны эффективные численные схемы для решения укороченных гидродинамических уравнений типа Сен-Венана [15, 16]. Причем наиболее распространены сеточные методы численного интегрирования. Отметим подходы, основанные на дробном шаге и методе конечных элементов [1], методе конечных элементов [17], неконсервативный метод характеристик (МОС) [18], используя радиальные базисные функции (метод CSRBFs) [19], методе конечных объемов [20], на хорошо сбалансированных схемах [12]. Моделирование динамики фронта раздела между слоем воды сухим дном по сложному рельефу предъявляет, по видимому, наиболее сильные требования к численной схеме [21].

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	ниицы «вода – сухое дно» [13, 14].					
			Численные схемы. К настоящему времени разработаны эффективные численные схемы для решения укороченных гидродинамических уравнений типа Сен-Венана [15, 16]. Причем наиболее распространены сеточные методы численного интегрирования. Отметим подходы, основанные на дробном шаге и методе конечных элементов [1], методе конечных элементов [17], неконсервативный метод характеристик (МОС) [18], используя радиальные базисные функции (метод CSRBFs) [19], методе конечных объемов [20], на хорошо сбалансированных схемах [12]. Моделирование динамики фронта раздела между слоем воды сухим дном по сложному рельефу предъявляет, по-видимому, наиболее сильные требования к численной схеме [21].					
						ГК №4134/18-Т5С29		Лист
								13
Изм.	Кол.уч.	Лист	Недоп.	Подп.	Дата			

Особые требования к численным моделям предъявляют задачи, связанные с гидродинамикой существенно нестационарных поверхностных вод (паводковые воды, разливы рек, различного рода затопления), поскольку требуют детального учета рельефа как на мелких масштабах (сотни километров), так и крупных масштабах с разрешением существенно лучше километра (для практических приложений до ~ 20 м с учетом разрешения рельефа местности по данным дистанционного зондирования). Причем, в такого рода расчетах, возникает необходимость корректного описания динамики многочисленных фронтов раздела между жидкостью и сухим дном на сложном нерегулярном рельефе.

Расчеты динамики поверхностных вод на реалистичном (нерегулярном) рельефе местности с использованием численных алгоритмов DGM (Depth Gradient Method) и SGM (Surface Gradient Method) показали, что данные методы неприменимы в областях течения, содержащих разрывы и резкие перепады уровней рельефа [12, 22]. Примеры таких течений - водопады и сложные движения жидкости в криволинейных каналах с вертикальными боковыми стенками при их переполнении. В этих случаях, т.е. в окрестностях особенностей рельефа дна, может происходить неконтролируемый рост скорости течения жидкости в ячейках с очень малой глубиной (например, при обмелении), появление существенных осцилляций в численном решении, а также может нарушаться позитивность, либо консервативность метода. Это обусловлено тем, что рассматриваемые методы были разработаны в предположении непрерывного и гладкого рельефа дна.

Для эффективного решения описанных выше задач, построена численная схема, обладающая следующими свойствами: консервативность; хорошая сбалансированность (well-balanced); второй порядок аппроксимации по временной и пространственным координатам; сквозной устойчивый расчет динамической границы «жидкость – сухое дно» при наличии неструктурированных мелкомасштабных неоднородностей у функции дна. Построенную численную схему будем называть cSPH–TVD (combined SPH–TVD).

Тестирование гидродинамического кода проведено посредством последовательного сравнения численной модели с аналитическими решениями и результатами моделирований, опубликованными другими авторами с использованием различных численных методов. Перечислим основные тестовые задачи: распад произвольного разрыва глубины и/или скорости течения (в случае наклонного дна задача может быть сведена к случаю плоского дна [23]); распад столба жидкости на сухом дне; распространение малых возмущений поверхностных гравитационных волн при наличии неоднородного дна; исследование процесса длительного распространения солитона, позволяющее оценить дисперсионные свойства численной схемы; расчет гидравлического прыжка; расчет стационарных и нестационарных течений на существенно неоднородном рельефе дна, включая разрывные профили; накат волн типа цунами на пологий берег; колебания уровня жидкости на параболическом

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист 14
Изм.	Кол.уч.	Лист	Недоп.	Подп.	Дата	ГК №4134/18-Т5С29	

дне; течение типа водопад; сдвиговые течения; распад циркуляционной дамбы на нерегулярном рельефе.

1.2.3. Основные уравнения

Уравнения движения мелкой воды в дифференциальной форме (уравнения Сен-Венана) имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(Hu_x)}{\partial x} + \frac{\partial(Hu_y)}{\partial y} &= q, \\ \frac{\partial(H\mathbf{u})}{\partial t} + \nabla(H\mathbf{u} \otimes \mathbf{u}) &= -gH\nabla\eta + H\mathbf{f}, \\ \mathbf{f} &= \mathbf{f}^{frict} + \mathbf{f}^{Cor} + \mathbf{f}^{wind} + \mathbf{f}^{visc}, \end{aligned} \quad \begin{matrix} 1) \\ 2) \\ 3) \end{matrix}$$

где

H – глубина воды [м],

$\eta = (H + b)$ – уровень свободной поверхности воды [м],

b – уровень дна [м],

$\mathbf{u} = (u_x, u_y)$ – вектор скорости потока воды [м/с],

q – плотность поверхностных источников и стоков воды [м/с],

g – ускорение свободного падения [м/с²],

$\mathbf{f}$ – суммарная плотность сил, действующих на жидкость в рамках теории мелкой воды, которая представима в виде суперпозиции сил Кориолиса, придонного трения, вязкости и ветра, соответственно.

Обозначения математической модели представлены на рисунке 5.

Инв.№подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						
						ГК №4134/18-Т5Ч29		Лист
								15
Изм.	Кол.уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата			

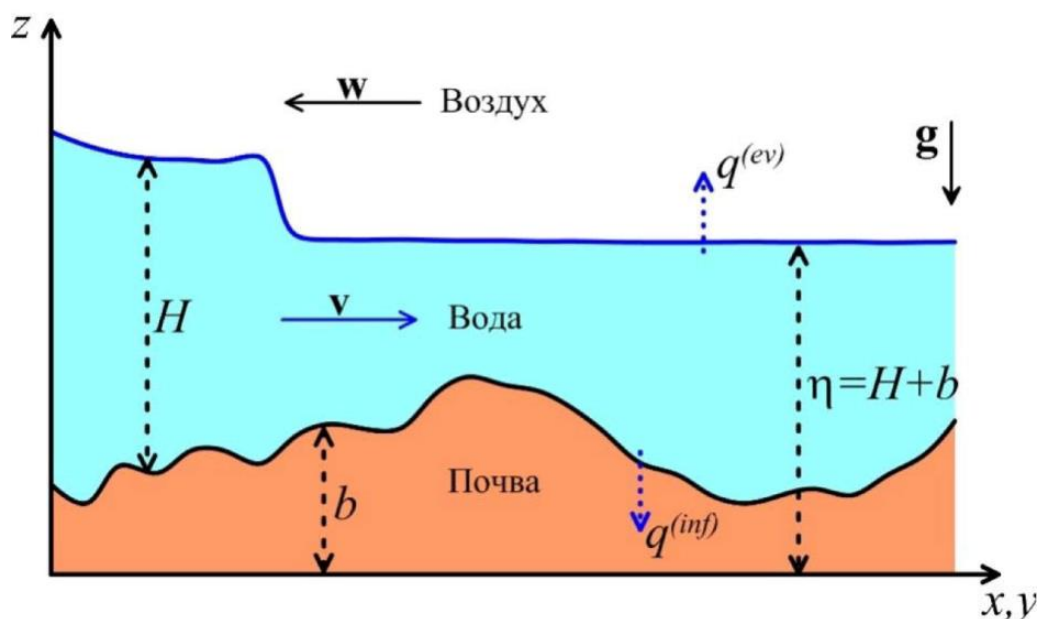


Рис. 5. Схема, поясняющая обозначения математической модели.

Для силы Кориолиса имеем:

$$\begin{aligned} f_x^{Cor} &= -2\Omega \sin(\Theta) u_y \\ f_y^{Cor} &= 2\Omega \sin(\Theta) u_x \end{aligned} \quad 4)$$

где Ω – угловая скорость вращения Земли, Θ – географическая широта.

Сила придонного трения в рамках стандартной модели квадратичного трения жидкости о дно водоема представима в виде:

$$\mathbf{f}^{frict} = -\frac{\lambda}{2} \mathbf{u} \cdot |\mathbf{u}| \quad 5)$$

где $\lambda = 2gn_M^2/H^{4/3}$ – коэффициент гидравлического трения, n_M – коэффициент шероховатости дна по Маннингу. В общем случае коэффициент шероховатости n_M зависит множества физических факторов: шероховатости прямого равномерного русла; нерегулярной структуры дна; извилистости русла; различных препятствий; растительности; турбулентности; перемещения наносов.

Для вязких турбулентных сил имеем:

$$\mathbf{f}^{visc} = \frac{1}{H} \nabla \hat{\mathbf{T}} \quad 6)$$

где $\mathbf{T}$ – тензор вязких напряжений с компонентами

Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

$$T_{xx} = 2\nu_t H \frac{\partial u_x}{\partial x}, \quad T_{yy} = 2\nu_t H \frac{\partial u_y}{\partial y},$$

$$T_{xy} = \nu_t H \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right)$$

Коэффициент турбулентной вязкости определяется следующим соотношением

$$\nu_t = Ch^2 \sqrt{\left(\frac{\partial u_x}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_y}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right)^2}$$

здесь $C_v \approx 0.4$ – эмпирическая постоянная, h^2 – площадь расчетной ячейки.

Для силы ветра имеем:

$$\mathbf{f}^{wind} = \frac{C_a \rho_a}{H \rho} (\mathbf{w} - \mathbf{u}) \cdot |\mathbf{w} - \mathbf{u}| \quad (7)$$

где ρ_a – плотность атмосферы, $\mathbf{w}$ – скорость ветра, C_a – параметр, зависящий от состояния водной поверхности.

1.2.4. Модель источников и стоков воды

В уравнении непрерывности для тонкого слоя (1) присутствует параметр q , который характеризует скорость притока/оттока воды за счет действующих источников/стоков. Для q в общем случае имеем:

$$q = q^{(s)} - q^{(inf)} - q^{(ev)} \quad (8)$$

где $q^{(s)}$ – приток воды за счет источников (осадки, выход на поверхность грунтовых вод и т.п.), $q^{(inf)}$, $q^{(ev)}$ – отток воды за счет инфильтрации в почву и испарения, соответственно. Указанные источники/стоки зависят от температуры воздуха, температуры воды, влажности воздуха, облачности, глубины промерзания почвы, насыщенности влагой грунта и его температуры.

В данной работе используется нелинейная модель инфильтрации воды в почву, которая более адекватно моделирует процесс впитывания воды. В предлагаемой модели величина $q^{(inf)}$, входящая в соотношение (8), определяется следующим образом

Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			Лист
ГК №4134/18-Т5Ч29							17	

$$q^{(inf)} = q_*^{(inf)} (1 - \alpha_A)^{\gamma} \left(\frac{H}{H_*} \right)^{\beta}$$

$$\frac{\partial \alpha_A}{\partial t} = \frac{q^{(inf)} - q_A^{(inf)}}{\psi_A H_A} \quad 9)$$

здесь $q_*^{(inf)}$ – скорость впитывания воды толщиной слоя H_* в сухую почву, α – коэффициент влагонасыщенности почвы, ψ – пористость почвы.

1.2.5. Численный алгоритм расчета динамики затопления

Для численного интегрирования уравнений (1)–(9), описывающих динамику поверхностных вод, использовался CSPH-TVD метод, основанный на лагранжевом и эйлеровом подходах. Численный алгоритм для моделирования динамики затопления территорий содержит два этапа и определяется следующими расчетными формулами:

1. Лагранжев этап

$$\mathbf{U}_i^*(t_{n+1}) = \mathbf{U}_i(t_n) + \tau_n \Phi_i(\mathbf{r}_i(t_n), \mathbf{U}_i(t_n)) \quad 10)$$

$$\mathbf{r}_i(t_{n+1}) = \mathbf{r}_i(t_n) + \frac{\tau_n}{2} (\mathbf{u}_i(t_n) + \mathbf{u}_i^*(t_{n+1})) \quad 11)$$

$$\tilde{\mathbf{U}}_i(t_{n+1}) = \frac{\mathbf{U}_i(t_n) + \mathbf{U}_i^*(t_{n+1})}{2} + \frac{\tau_n}{2} \Phi_i(\mathbf{r}_i(t_{n+1}), \mathbf{U}_i^*(t_{n+1})) \quad 12)$$

где $\mathbf{U}_i = \begin{pmatrix} H_i \\ (H\mathbf{u})_i \end{pmatrix}$ – вектор консервативных переменных, $\mathbf{i} = (i, j)$ – векторный пространственный индекс характеризует радиусы-векторы лагранжевых частиц $\mathbf{r}_i = (x_i, y_i)$, временные слои t_n имеют неравномерный шаг $\tau_n = t_n - t_{n-1}$, (n обозначает индекс временного слоя),

$\Phi_i \approx \begin{pmatrix} q_i \\ -gH_i \sum_k (H_k \nabla_i \bar{W}_{ik} + b_k \nabla_i \bar{W}_{ik}^0) + H_i \mathbf{f}_i \end{pmatrix}$, $\bar{W}_{ik} = h^2 W(|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_k|, h)$, $\bar{W}_{ik}^0 = h^2 W(|\mathbf{r}_i^0 - \mathbf{r}_k^0|, h)$

– функция сглаживания (кубический сплайн Монагана), используемая для аппроксимации градиентов глубины и рельефа дна, h – длина сглаживания соответствующая размеру эйлеровых ячеек,

$$W(s) = \frac{10}{7\pi h^2} \begin{cases} 1 - 1.5s^2 + 0.75s^3, & 0 \leq s \leq 1 \\ 0.25(2-s)^3, & 1 \leq s \leq 2, \\ 0, & s > 2 \end{cases} \quad s = |\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_k|/h \text{ – относительное расстояние между частицами.}$$

Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

II. Эйлеров этап

$$\mathbf{U}_i^{n+1} = \tilde{\mathbf{U}}_i^{n+1} - \frac{\tau_n}{h} \left(\mathbf{F}_{i+1/2,j}^{n+1/2} - \mathbf{F}_{i-1/2,j}^{n+1/2} + \mathbf{G}_{i,j+1/2}^{n+1/2} - \mathbf{G}_{i,j-1/2}^{n+1/2} \right) \quad (13)$$

где $\mathbf{F} = \begin{pmatrix} H\nu \\ Hu^2 \\ H\nu u \end{pmatrix}$, $\mathbf{G} = \begin{pmatrix} H\nu \\ Huv \\ H\nu^2 \end{pmatrix}$ – потоки физических величин через границы

эйлеровых ячеек, а значения потоков $\mathbf{F}_{i\pm 1/2,j}^{n+1/2}$ and $\mathbf{G}_{i,j\pm 1/2}^{n+1/2}$ являются средними значениями (в интервале $[t_n, t_{n+1}]$) потоков массы и импульса через границы ячейки в x и y направлениях, соответственно. Для определения этих потоков мы используем TVD-подход и приближенные методы решения задачи Римана (RP) для произвольного распада разрыва (метод Лакса-Фридрихса (LF), метод Хартена-Лакс-Ван Лиера (HLL)). Задача Римана решается отдельно для каждой границы ячеек Эйлера.

Условие устойчивости

Для устойчивости числовой схемы CSPH-TVD во время интегрирования должны выполняться следующие условия:

1) на лагранжевом этапе смещение центра масс частиц не должно превышать $h/2$ относительно исходного положения;

2) на эйлеровом этапе возмущения не должны распространяться на расстояние, превышающее размер ячейки h .

Эти требования обеспечивают условие численной устойчивости для временного шага τ_n алгоритма CSPH-TVD:

$$\tau_n = K \min \left(\frac{h}{2 \max_i |\mathbf{u}_i^n|}, \frac{h}{\max_i (|\mathbf{u}_i^n| + \sqrt{g H_i^n})} \right), \quad (14)$$

где $0 < K < 1$ – число Куранта, $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения на поверхности Земли.

Параллельная реализация CSPH-TVD метода

Метод CSPH-TVD демонстрирует хорошую способность к распараллеливанию на графических процессорах. На рисунке 6 показана компьютерная реализация метода CSPH-TVD на графических процессорах в виде последовательности выполнения CUDA-ядер на разных этапах нашего алгоритма.

Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №						
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			Лист
						ГК №4134/18-Т5С29		19

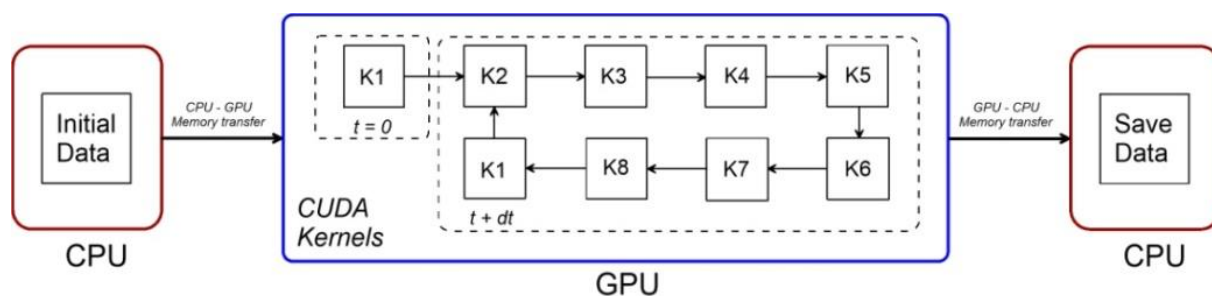


Рис. 6: Блок-схема для каждого модуля расчета:

- K1 определяет наличие воды в блоке CUDA;
- K2 рассчитывает силы в момент времени t_n на лагранжевом этапе;
- K3 рассчитывает шаг по времени;
- K4 рассчитывает новые положения частиц и их интегральные характеристики во времени $t_{n+1/2}$;
- K5 определяет силы на временном слое $t_{n+1/2}$;
- K6 рассчитывает положения частиц и их интегральные характеристики для следующего временного слоя t_{n+1} ;
- K7 рассчитывает поток физических величин через границы ячеек в момент времени $t_{n+1/2}$;
- K8 определяет конечные гидродинамические параметры в момент времени t_{n+1} .

Глава 2. Результаты расчетов зон затопления в окрестности населенных пунктов.

2.1 Результаты расчетов гидрометрическим методом.

Таблица 3

			1%	3%	5%	10%	25%	50%
1	р. Паньшинка – х. Паньшино		42.37	41.88	41.67	41.31	40.74	40.15
2	р. Мокрая Мечетка – р. п. Городище		45.15	45.00	44.64	44.12	43.85	43.36

*Примечание. Сток реки Мокрая Мечётка в черте р.п. Городище зарегулирован 4-мя плотинами. Зарегулированы также притоки Мокрой Мечётки – балки Казённая и Коренная (в черте посёлка по 2 плотины на каждой). Часть указанных ГТС капитальные бетонные, что сводит к минимуму риск опасных гидрологических процессов. Приведенный расчет выполнен для поперечника ПП2.

Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

2.2 Результаты расчетов методом прямого гидродинамического моделирования.

1. *р.п. Городище (р. Мокрая Мечетка)*

Таблица 4. Параметры расчета

Обеспеченность	1%	3%	5%	10%	25%	50%
Объемный расход Q (м ³ /с)	130	106	82	42	22	12
Отметки уровней (м)	45.21	45.03	44.59	44.18	43.78	43.41
Время расчета t (часы)	1656	1380	1080	600	360	240
Площадь затопления S (км ²)	0.95	0.91	0.88	0.82	0.74	0.70
Коэффициент Маннинга n	0.1					
Кол-во источников	1					
Гидрограф	Q_{min}	ΔQ	Q_{max}	расположение источников		
	2	2	132	р. Мокрая Мечетка		

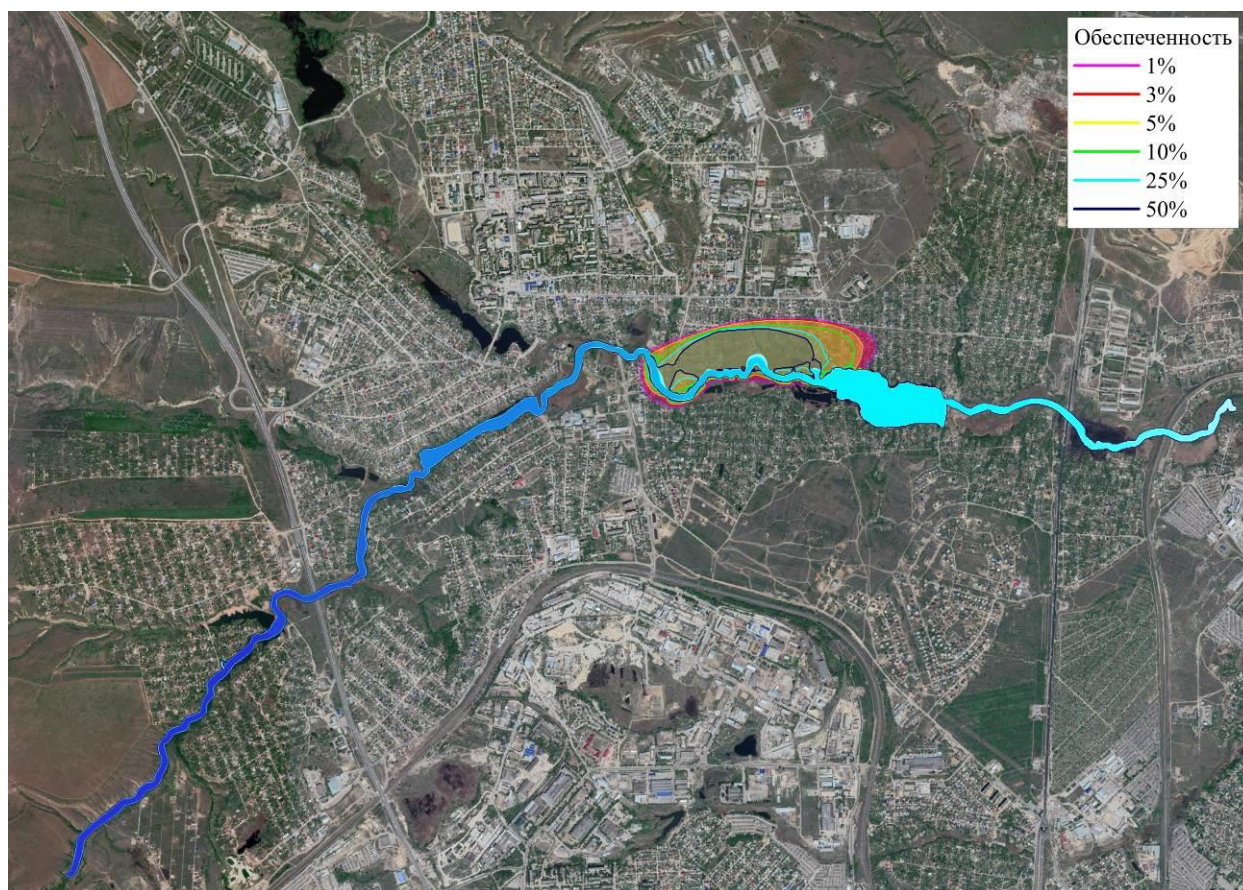


Рис. 7: Границы зон затопления в окрестности *р.п. Городище* при различной обеспеченности на космическом снимке. Сплошные линии соответствуют границам с глубиной 0.1 м, полупрозрачная цветная заливка соответствует зонам затопления заданной обеспеченности.

2. *х. Паньшино (р. Паньшинка)*

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Кол.уч.	Лист	Недок.	Подп.	Дата
------	---------	------	--------	-------	------

ГК №4134/18-Т5Ч29

Лист

21

Таблица 5. Параметры расчета

Обеспеченность	1%	3%	5%	10%	25%	50%
Объемный расход Q (м ³ /с)	130	98	82	72	46	30
Отметки уровней (м)	42.42	41.95	41.59	41.28	40.65	40.19
Время расчета t (часы)	1656	1272	1080	960	648	456
Площадь затопления S (км ²)	3.24	2.61	2.27	1.53	0.88	0.43
Коэффициент Маннинга n	0.1					
Кол-во источников	1					
Гидрограф	Q_{min}	ΔQ	Q_{max}	расположение источников		
	2	2	132	р. Паньшинка		

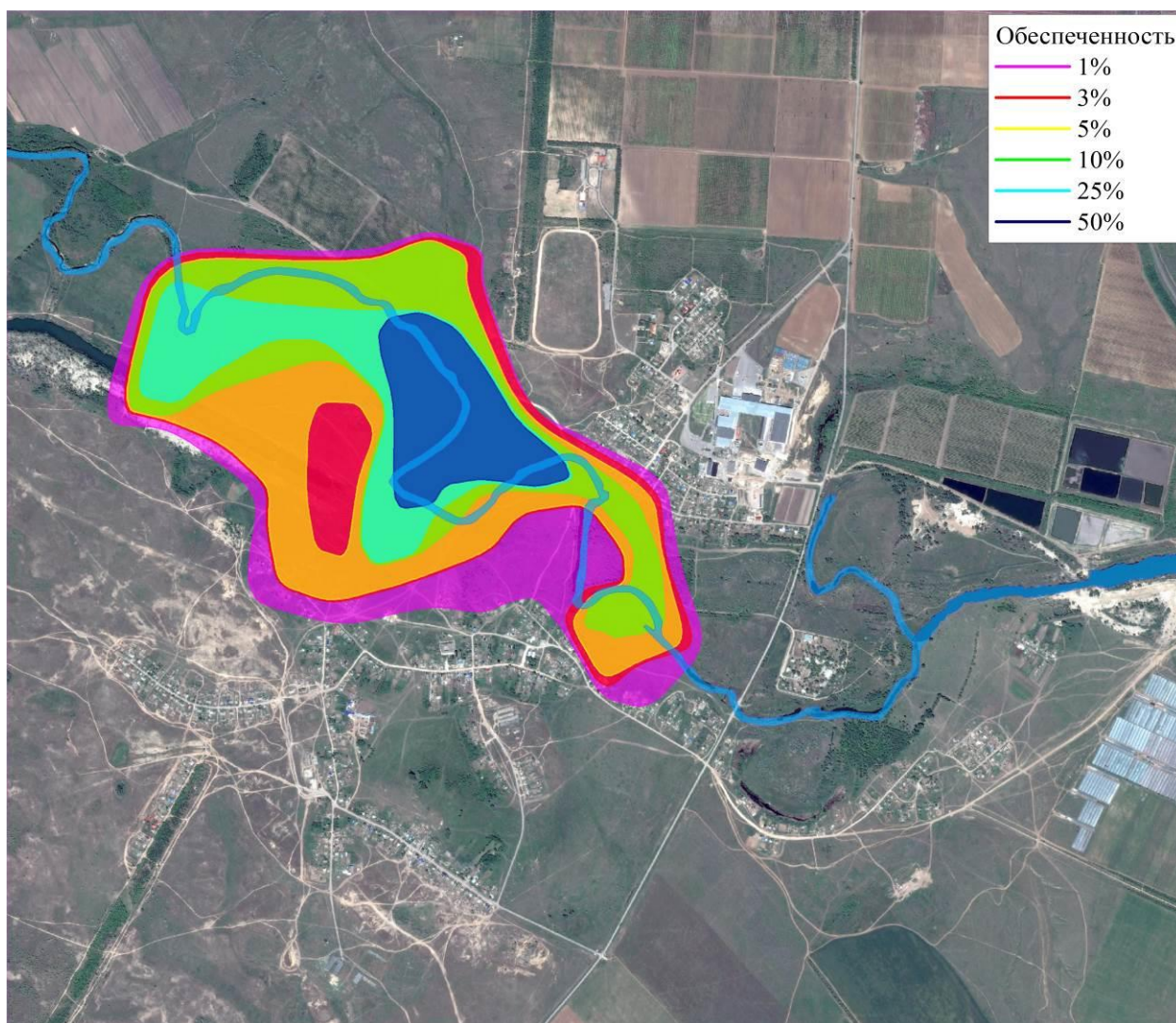


Рис. 8: Границы зон затопления в окрестности **х. Паньшино** при различной обеспеченности на космическом снимке. Сплошные линии соответствуют границам с глубиной 0.1 м, полупрозрачная цветная заливка соответствует зонам затопления заданной обеспеченности.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

ГК №4134/18-Т5С29

Лист

22

Формат А4

2.3 Определение местоположения границ зон затопления.

На территорию Городищенского района Волгоградской области в АО «Волговодпроект» имеются топографические карты М 1:10000, М 1:250000, М 1:50000 в растровом виде, изданные Главным Управлением Геодезии и Картографии при Совете Министров СССР в системе координат СК63.

Данный картографический материал является секретным и используется в служебных целях. Передаче сторонним организациям не подлежит.

Местоположение границ зон затопления устанавливалось посредством определения плоских прямоугольных координат характерных точек границ зон затопления в системе координат установленной для ведения государственного кадастра недвижимости, а именно МСК-34.

Координаты характерных точек границ зон затопления определены с точностью не ниже точности картографической основы государственного кадастра недвижимости.

Для определения координат характерных точек границ зон затопления использовались топографические карты М 1:10000.

Изолинии уровней воды обеспеченности 1%, 5%, 10%, 25%, 50% наносились по горизонталям на топографическую карту, которая была приведена в систему координат МСК-34 по которой определялись координаты характерных точек границ зон затопления при заданных обеспеченностях.

Создавался каталог координат.

Для передачи заказчику картографического материала использованы ортофотопланы с переводом координат в систему МСК -34.

2.4 Описание объектов расположенных в границах зон затопления Пгт. Городище.

По обоим берегам реки и прудов расположена жилая застройка, административные и производственные здания. К поселку примыкают земли сельхоз назначения. В период высоких уровней весеннего половодья происходит затопление домовладений по улице Химическая.

Хутор Панышино.

Жилая застройка хутора Панышино расположена на левом берегу реки Панышинка. К селу примыкают земли сельхоз назначения, пашни, луга, пастбища. В период высоких уровней весеннего половодья, затопления домовладений на территории хутора Панышино со стороны реки Панышинка не происходило. При половодье с 1% обеспеченностью возможно затопление домовладений, расположенных по улице Заречная.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	сельхоз назначения. В период высоких уровней весеннего половодья происходит затопление домовладений по улице Химическая.					
			Хутор Панышино.					
			Жилая застройка хутора Панышино расположена на левом берегу реки Панышинка. К селу примыкают земли сельхоз назначения, пашни, луга, пастбища. В период высоких уровней весеннего половодья, затопления домовладений на территории хутора Панышино со стороны реки Панышинка не происходило. При половодье с 1% обеспеченностью возможно затопление домовладений, расположенных по улице Заречная.					
						ГК №4134/18-Т5С29		Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			23

Заключение.

На территорию Городищенского района Волгоградской области в АО «Волговодпроект» имеются топографические карты М 1:10000, М 1:250000, М 1:50000 в растровом виде, изданные Главным Управлением Геодезии и Картографии при Совете Министров СССР в системе координат СК63.

Данный картографический материал является секретным и используется в служебных целях. Передаче сторонним организациям не подлежит.

Для определения координат зон затопления использовались топографические карты М 1:10000. Изолинии уровней воды обеспеченности 1%, 5%, 10%, 25%, 50% наносились по горизонталям на топокарту. Определялись координаты характерных точек в системе координат СК-63, после чего пересчитывались в местную систему координат МСК34.

После определения координат зон затопления на государственной топооснове координаты СК-63 переводились в координаты МСК-34, по которым зоны затопления наносились на ортофотопланы, которые не являются секретными и передаются заказчику.

Инв.№подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					ГК №4134/18-Т5Ч29	Лист
								24
			Изм.	Кол.уч.	Лист	№док.		Подп.

Список литературы

1. Agoshkov V.I., Ambrosi D., Pennati V., Quarteroni A., Saleri F. Mathematical and numerical modelling of shallow water flow // Computational Mechanics. 1993. **11**, N5–6. 280–299.
2. Karelsky K.V., Petrosyan A.S. Particular solutions and Riemann problem for modified shallow water equations // Fluid Dynamics Research. 2006. **38**, N5. 339–358.
3. Чикин А.Л., Бирюков П.А. Расчет ветровых течений в Керченском проливе с помощью двухслойной математической модели // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2010. №5. 12–16.
4. Bristeau M.-O., Goutal N., Sainte-Marie J. Numerical simulations of a non-hydrostatic shallow water model // Computers & Fluids. 2011.
5. Wang K.-H., Li W., Lee H. Propagation and transformation of periodic nonlinear shallow-water waves in basins with selected breakwater systems // Computers & Fluids. 2008. **37**, N8. 931–942.
6. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны М.: Мир, 1977.
7. Bonometti T., Balachandar S. Slumping of non-Boussinesq density currents of various initial fractional depths: A comparison between direct numerical simulations and a recent shallow-water model // Computers & Fluids. 2010. **39**, N4. 729–734.
8. Dewals B.J., Kantoush S.A., Erpicum S., Pirotton M., Schleiss A.J. Experimental and numerical analysis of flow instabilities in rectangular shallow basins // Environmental Fluid Mechanics. 2008. **8**. 31–54.
9. Аверкиев А.С., Клеванный К.А. Определение траекторий и скоростей циклонов, приводящих к максимальным подъемам воды в Финском заливе // Метеорология и гидрология. 2007. №8. 55–63.
10. Будинова Е.В., Носов В.Н., Терехин А.Т. Моделирование течений Северного Каспия. Теоретическая экология. М.: МГУ, 1987.
11. Воеводин А.Ф., Никифоровская В.С., Остапенко В.В. Математическое моделирование трансформации волн паводков в руслах с поймами // Метеорология и гидрология. 2008. №3. 88–95.
12. Храпов С.С., Хоперсков А.В., Еремин М.А., Гусаров Д.В. и др. Электронная модель затопления Волго-Ахтубинской поймы при различных гидрографах специального весеннего пуска Волжской ГЭС и водоснабжении рукава Ахтуба на основе технологий геоинформационных систем // Вестник ВолГУ. Сер.1. Математика. Физика. 2008. **11**. 201–207.
13. Kesserwani G., Liang Q. Well-balanced RKDG2 solutions to the shallow water equations over irregular domains with wetting and drying // Computers & Fluids. 2010. **39**, N10. 2040–2050.
14. Alcrudo F., Benkhaldoun F. Exact solutions to the Riemann problem of the shallow water equations with a bottom step // Computers & Fluids. 2001. **30**. 643–671.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	теорология и гидрология. 2008. № 3. 88–95.						
			12. Храпов С.С., Хоперсков А.В., Еремин М.А., Гусаров Д.В. и др. Электронная модель затопления Волго-Ахтубинской поймы при различных гидрографах специального весеннего попуска Волжской ГЭС и водоснабжении рукава Ахтуба на основе технологий геоинформационных систем // Вестник ВолГУ. Сер.1. Математика. Физика. 2008. 11. 201–207.						
			13. Kesserwani G., Liang Q. Well-balanced RKDG2 solutions to the shallow water equations over irregular domains with wetting and drying // Computers & Fluids. 2010. 39, N 10. 2040–2050.						
			14. Alcrudo F., Benkhaldoun F. Exact solutions to the Riemann problem of the shallow water equations with a bottom step // Computers & Fluids. 2001. 30. 643–671.						
							ГК №4134/18-Т5С29		Лист
									25
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

15. Noelle S., Pankratz N., Puppo G., and Natvig J.R. Well-balanced finite volume schemes of arbitrary order of accuracy for shallow water flows. // J. Comput. Phys. 2006. **213**. 474–499.
16. Евстегнеев Н.М. Конечно-объемная TVD-схема для решения 2D эволюционных уравнений мелкой воды // Вычислительные методы и программирование. 2006. **7**. 108–112.
17. Kashiya K., Ohba Y., Takagi T., Behr M., Tezduyar T. Parallel finite element method utilizing the mode splitting and sigma coordinate for shallow water flows // Computational Mechanics. 1999. **23**, N2. 144–150.
18. Mohammadian A., Le Roux D.Y., Tajrishi M. A conservative extension of the method of characteristics for 1-D shallow flows // Applied Mathematical Modelling. 2007. **31**, N2. 332–348.
19. Wong S.M., Hon Y.C., Golberg M.A. Compactly supported radial basis functions for shallow water equations // Applied Mathematics and Computation. 2002. **127**, N1. 79–101.
20. Fernandez-Nieto E.D., Marin J., Monnier J. Coupling superposed 1D and 2D shallow-water models: Source terms in finite volume schemes // Computers & Fluids. 2010. **39**, N6. 1070–1082.
21. Liang Q., Borthwick A.G.L. Adaptive quadtree simulation of shallow flows with wet–dry fronts over complex topography // Computers & Fluids. 2009. **38**, N2. 221–234.
22. Храпов С.С., Хоперсков А.В., Еремин М.А. Моделирование динамики поверхностных вод: монография. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2010.
23. Karelsky K. V., Papkov V. V., Petrosyan A. S. The initial discontinuity decay problem for shallow water equations on slopes // Physics Letters A. 2000. **271**, N5–6. 349–357.
24. Храпов С.С., Хоперсков А.В., Кузьмин Н.М., Писарев А.В., Кобелев И.А. Численная схема для моделирования динамики поверхностных вод на основе комбинированного SPH-TVD-подхода // Вычислительные методы и программирование. 2011. Т. 12. №1. С.282–297.
25. Писарев А.В., Храпов С.С., Хоперсков А.В. Численная схема на основе комбинированного подхода SPH-TVD: проблема моделирования сдвиговых течений // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1: Математика. Физика. 2011. Т.15. №2. С. 138–141.
26. Хоперсков А.В., Храпов С.С., Писарев А.В., Воронин А.А., Елисеева М.В., Кобелев И.А. 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.
27. Воронин А.А., Елисеева М.В., Храпов С.С., Писарев А.В., Хоперсков А.В. 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.

Инв. № подл.	Подп. и дата					Взам. инв. №
вых течений // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1: Математика. Физика. 2011. Т.15. №2. С. 138-141. 26. Хоперсков А.В., Храпов С.С., Писарев А.В., Воронин А.А., Елисеева М.В., Кобелев И.А. Задача управления гидрологическим режимом в эколого-экономической системе "Волжская ГЭС - Волго-Ахтубинская пойма". Ч.1. Моделирование динамики поверхностных вод в период весенне-го паводка // Проблемы управления. 2012. № 5. С. 18-25. 27. Воронин А.А., Елисеева М.В., Храпов С.С., Писарев А.В., Хоперсков А.В. 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.						
						Лист
ГК №4134/18-Т5Ч29						
Изм.	Кол.уч.	Лист	Недок.	Подп.	Дата	26

28. Храпов С.С., Бутенко М.А., Писарев А.В., Хоперсков А.В. Суперкомпьютерные технологии для моделирования гидродинамических течений: Монография. - Волгоград: Издательство Волгоградского государственного университета, 2012. - 208 с.
29. Хоперсков А.В., Храпов С.С., Писарев А.В., Кобелев И.А., Кудина И.Г. Прямое моделирование динамики поверхностных вод на территории Волго-Ахтубинской поймы - с. 177-181 // Суперкомпьютерные технологии в науке, образовании и промышленности / Под редакцией: академика В.А. Садовниченко, академика Г.И. Савина, чл.-корр. РАН Вл.В. Воеводина.-М.: Издательство Московского университета, 2012. - 232 с., ил. ISBN 978-5-211-06345-7
30. Жумалиев А.Г., Храпов С.С. Численная схема CSPH-TVD: моделирование фронта ударной волны // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1: Математика. Физика. 2012. № 2. С. 60-67.
31. Храпов С.С., Писарев А.В., Воронин А.А., Дьяконова Т.А., Циркова Е.А. Особенности динамики затопления Волго-Ахтубинской поймы в зависимости от режимов испарения и инфильтрации // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1: Математика. Физика. 2012. Т.16. №1. С. 43-47.
32. Храпов С.С., Хоперсков А.В., Писарев А.В., Кобелев И.А. Моделирование гидрологического режима ВАП в период весеннего паводка с использованием программного комплекса "ЭкоГИС" // Материалы международной конференции "ИнтерКарто-ИнтерГИС 18" "Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт". Смоленск (Россия) - Сен-Дье-де-Вож (Франция), 26 июня - 4 июля 2012 г. С. 386-394.
33. Воронин А.А., Елисеева М.В., Писарев А.В., Хоперсков А.В., Храпов С.С. Имитационные модели динамики поверхностных вод с использованием данных дистанционного зондирования: влияние рельефа местности // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2012, No. 3(19), С.54-62.
34. Храпов С.С., Писарев А.В., Дьяконова Т.А., Хоперсков А.В. Компьютерное моделирование динамики поверхностных вод на территории Волго-Ахтубинской поймы - с. 5-7 // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-25: сборник трудов XXV Международной научной конференции в 10 томах. Т.2. Секции 3, 4 - Волгоград: Волгогр. гос. техн. ун-т, 2012; Харьков: Национ. техн. ун-т "ХПИ", 2012. - 168 с. ISBN 978-5-7433-2386-9.
35. Курцев П.А. Разработка компонентов программного комплекса "ЭкоГИС" для создания и редактирования цифровых моделей местности // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 9: Исследования молодых ученых, 2013, № 11, с. 69-73.
36. Khrapov S.S., Pisarev A.V., Kobelev I.A., Zhumaliev A.G., Agafonnikova E.O., Losev A.G. and Khoperskov A.V. The Numerical Simulation of Shallow

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Ахтубинской поймы - с. 5-7 // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-25: сборник трудов XXV Международной научной конференции в 10 томах. Т.2. Секции 3, 4 - Волгоград: Волгогр. гос. техн. ун-т, 2012; Харьков: Национ. техн. ун-т "ХПИ", 2012. - 168 с. ISBN 978-5-7433-2386-9.					
			35. Курцев П.А. Разработка компонентов программного комплекса "ЭкоГИС" для создания и редактирования цифровых моделей местности // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 9: Исследования молодых ученых, 2013, № 11, с. 69-73.					
			36. Khrapov S.S., Pisarev A.V., Kobelev I.A., Zhumaliev A.G., Agafonnikova E.O., Losev A.G. and Khoperskov A.V. The Numerical Simulation of Shallow					
ГК №4134/18-Т5С29							Лист	
							27	
Изм.	Кол.уч.	Лист	Недок.	Подп.	Дата			

- Water: Estimation of the Roughness Coefficient on the Flood Stage // Advances in Mechanical Engineering. Volume 2013, Article ID 787016, 11 pages.
37. Писарев А.В., Храпов С.С., Агафонникова Е.О., Хоперсков А.В. Численная модель динамики поверхностных вод в русле Волги: оценка коэффициента шероховатости // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки, 2013, N 1, с. 114-130.
 38. Воронин А. А., Васильченко А. А., Храпов С. С., Агафонникова Е. О. Анализ эффективности природовосстановительных проектов в эколого-экономической системе "Волжская ГЭС - Волго-Ахтубинская пойма" // Управление большими системами. Выпуск 52, 2014. С.133-147.
 39. Дьяконова Т.А., Писарев А.В., Хоперсков А.В., Храпов С.С. Математическая модель динамики поверхностных вод // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1: Математика. Физика. 2014. № 1. С. 35-44.
 40. Кузьмин Н.М., Белоусов А.В., Шушкевич Т.С., Храпов С.С. Численная схема CSPH - TVD: исследование влияния ограничителей наклонов // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1: Математика. Физика. 2014. № 1. С. 22-33.
 41. Дьяконова Т.А., Агафонникова Е.О., Хоперсков А.В., Храпов С.С. Динамика затопления территории Волго-Ахтубинской поймы вследствие прорыва плотины волжской ГЭС на основе гидродинамического моделирования / Материалы международной конференции "ИнтерКарто-ИнтерГИС 20" "Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение". Белгород (Россия) - Харьков (Украина) - Кигали (Руанда), 23 июля - 30 июля 2014 г. С. 251-259. ISBN: 978-5-9786-0332-3.
 42. Писарев А.В., Елисеева М.В., Храпов С.С., Хоперсков А.В., Воронин А.А. Моделирование гидротехнических проектов улучшения гидрологического режима с применением ГИС-технологий на примере Волго-Ахтубинской поймы / Материалы международной конференции "ИнтерКарто-ИнтерГИС 20" "Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение". Белгород (Россия) - Харьков (Украина) - Кигали (Руанда), 23 июля - 30 июля 2014 г. С. 214-221. ISBN: 978-5-9786-0332-3.
 43. Писарева М.В., Писарев А.В., Храпов С.С., Хоперсков А.В., Воронин А.А. Улучшение гидротехнической сети Волго-Ахтубинской поймы с помощью геоинформационных технологий / Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции "Современные тенденции в образовании и науке" 28 ноября 2014 г. Часть 11. 2014. С.140-142. ISBN 978-5-906766-62-5. DOI: 10.17117/2014.11.28.11
 44. Дьяконова Т.А. Гидродинамическое моделирование прорыва плотины Волжской ГЭС / Материалы V международной научно-практической конференции "Академическая наука - проблемы и достижения". 1-2 де-

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	на) - Кигали (Руанда), 23 июля - 30 июля 2014 г. С. 214-221. ISBN: 978-5-9786-0332-3.					
			43. Писарева М.В., Писарев А.В., Храпов С.С., Хоперсков А.В., Воронин А.А. Улучшение гидротехнической сети Волго-Ахтубинской поймы с помощью геоинформационных технологий / Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции "Современные тенденции в образовании и науке" 28 ноября 2014 г. Часть 11. 2014. С.140-142. ISBN 978-5-906766-62-5. DOI: 10.17117/2014.11.28.11					
			44. Дьяконова Т.А. Гидродинамическое моделирование прорыва плотины Волжской ГЭС / Материалы V международной научно-практической конференции "Академическая наука - проблемы и достижения". 1-2 де-					
							ГК №4134/18-Т5С29	Лист
								28
Изм.	Кол.уч.	Лист	Недок.	Подп.	Дата			

кабря 2014 г. North Charleston, USA Том 3. С.126-128. ISBN: 978-1505431575.

45. Воронин А. А., Васильченко А.А., Писарева М.В., Писарев А.В., Храпов С.С. Проектирование системы эколого-экономического управления территорией Волго-Ахтубинской поймы на основе гидродинамического и геоинформационного моделирования // Управление большими системами. Выпуск 53, 2015. 27 С.
46. Воронин А.А., Васильченко А.А., Писарев А.В., Храпов С.С. Анализ эффективности гидротехнических проектов обводнения северной части Волго-Ахтубинской поймы на основе имитационного геоинформационного и гидродинамического моделирования / В книге: Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2016. Материалы 9 международной конференции: в 2-х томах. 2016. С. 343-345.
47. Дьяконова Т.А., Хоперсков А.В., Храпов С.С. Численная модель мелкой воды: использование графических процессоров NVIDIA CUDA // Суперкомпьютерные дни в России Труды международной конференции. 2016. С. 741-752.
48. Воронин А.А., Васильченко А.А., Писарев А.В., Храпов С.С., Радченко Ю.Е. Проектирование механизмов управления гидрологическим режимом Волго-Ахтубинской поймы на основе геоинформационного и гидродинамического моделирования // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1: Математика. Физика. 2016. № 1 (32). С. 24-37.
49. Дьяконова Т.А., Храпов С.С., Хоперсков А.В. Проблема граничных условий для уравнений мелкой воды // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. 2016. Т. 26. № 3. С. 401-417.
50. Дьяконова Т.А., Хоперсков А.В., Храпов С.С. Компьютерное моделирование динамики затопления территорий в случае чрезвычайных ситуаций с использованием технологий параллельных вычислений // Кибернетика и программирование. 2016. № 3. С. 17-34.
51. Агафонникова Е.О., Хоперсков А.В., Храпов С.С. Проблема прогноза и управления гидрологическим режимом на горной территории в период ливневого паводка на основе гидродинамических численных экспериментов // Кибернетика и программирование. 2016. № 3. С. 35-53.
52. Дьяконова Т.А., Хоперсков А.В., Храпов С.С. Численная модель мелкой воды: использование графических процессоров NVIDIA Cuda // В сборнике: Суперкомпьютерные дни в России Труды международной конференции. 2016. С. 741-752.
53. Кликунова А.Ю., Агафонникова Е.О., Храпов С.С., Хоперсков А.В. Экологические проблемы территории ВАП: актуализация цифровой модели рельефа // Проблемы устойчивого развития и эколого-экономической безопасности регионов. Материалы XII Межрегиональной научно-практической конференции. Волжский гуманитарный институт (филиал) Волгоградского государственного университета. 2016. С. 106-109.

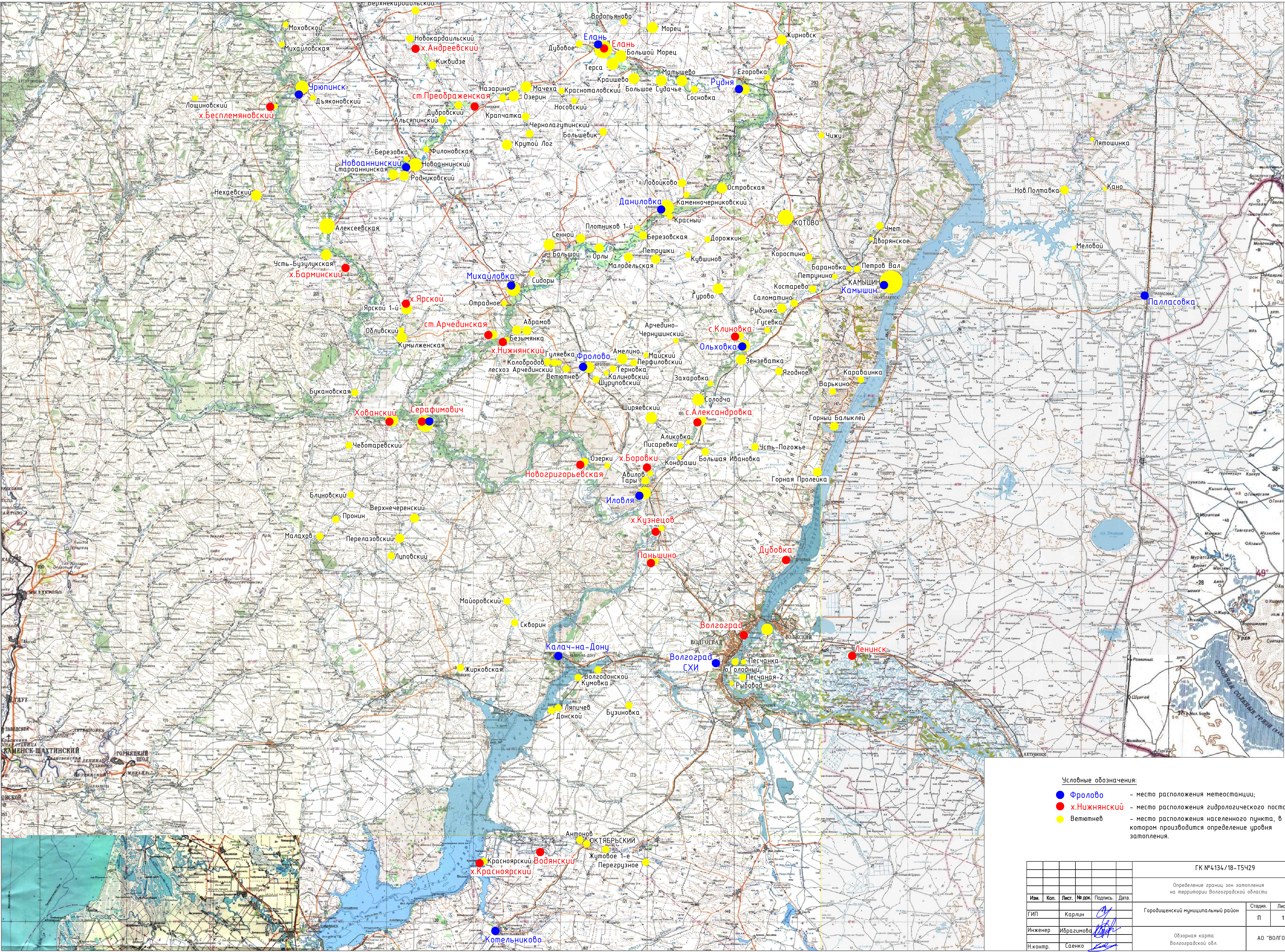
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	ливневого паводка на основе гидродинамических численных экспериментов // Кибернетика и программирование. 2016. № 3. С. 35-53.									
			52. Дьяконова Т.А., Хоперсков А.В., Храпов С.С. Численная модель мелкой воды: использование графических процессоров NVIDIA Cuda // В сборнике: Суперкомпьютерные дни в России Труды международной конференции. 2016. С. 741-752.									
			53. Кликунова А.Ю., Агафонникова Е.О., Храпов С.С., Хоперсков А.В. Экологические проблемы территории ВАП: актуализация цифровой модели рельефа // Проблемы устойчивого развития и эколого-экономической безопасности регионов. Материалы XII Межрегиональной научно-практической конференции. Волжский гуманитарный институт (филиал) Волгоградского государственного университета. 2016. С. 106-109.									
						ГК №4134/18-Т5Ч29						Лист
												29
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата							

54. Khrapov S., Khoperskov A. Smoothed-particle hydrodynamics models: implementation features on GPUS // Communications in Computer and Information Science. 2017. T. 793. С. 266-277.
55. Agafonnikova E.O., Klikunova A.Yu., Khoperskov A.V. Computer simulation of the Volga river hydrological regime: problem of water-retaining dam optimal location // Bulletin of the South Ural State University, Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software 2017. T. 10. № 3. С. 148-155.
56. Дьяконова Т.А., Хоперсков А.В. Модели придонного трения для уравнений мелкой воды: коэффициент шероховатости и мелкомасштабная неоднородность дна // В сборнике: Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики сборник трудов Международной научно-технической конференции. Воронежский государственный университет. 2017. С. 661-668.
57. Воронин А.А., Васильченко А.А., Хоперсков А.В. Оптимизация проекта восстановления малых русел северной части Волго-Ахтубинской поймы на основе геоинформационного и гидродинамического моделирования // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики сборник трудов Международной научно-технической конференции. Воронежский государственный университет. 2017. С. 1601-1608.
58. Преснякова А.Н., Писарев А.В., Храпов С.С. Исследование динамики затопления территории Волго-Ахтубинской поймы по данным космического мониторинга // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1: Математика. Физика. 2017. № 1 (38). С. 66-74.
59. Voronin A., Vasilchenko A., Khoperskov A. A project optimization for small watercourses restoration in the northern part of the Volga-Akhtuba floodplain by the geoinformation and hydrodynamic modeling // Journal of Physics: Conference Series Current Problems. Сер. "International Conference "Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems"". 2018. С. 012064.
60. Dyakonova T., Khoperskov A. Bottom friction models for shallow water equations: manning's roughness coefficient and small-scale bottom heterogeneity // Journal of Physics: Conference Series Current Problems. Сер. "International Conference "Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems"". 2018. С. 012032.
61. Klikunova, A.Yu., Khoperskov, A.V. Numerical hydrodynamic model of the Lower Volga // Journal of Physics: Conference Series 1128(1), 012087
62. Dyakonova, T., Khoperskov, A. Flow resistance in a variable cross section channel within the numerical model of shallow water // Journal of Physics: Conference Series 1128(1), 012014
63. Кликунова А.Ю., Хоперсков А.В. Построение цифровых моделей рельефа местности для речных пойм // Сборник трудов ИТНТ-2019 Сборник трудов V международной конференции и молодежной школы. Под редакцией В.В. Мясникова. 2019. С. 110-115.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Journal of Physics: Conference Series Current Problems. Сер. "International Conference "Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems"". 2018. С. 012032.							
			61. Klikunova, A.Yu., Khoperskov, A.V. Numerical hydrodynamic model of the Lower Volga // Journal of Physics: Conference Series 1128(1), 012087							
			62. Dyakonova, T., Khoperskov, A. Flow resistance in a variable cross section channel within the numerical model of shallow water // Journal of Physics: Conference Series 1128(1), 012014							
			63. Кликунова А.Ю., Хоперсков А.В. Построение цифровых моделей рельефа местности для речных пойм // Сборник трудов ИТНТ-2019 Сборник трудов V международной конференции и молодежной школы. Под редакцией В.В. Мясникова. 2019. С. 110-115.							
							ГК №4134/18-Т5Ч29		Лист	
									30	
Изм.	Кол.уч.	Лист	Недок.	Подп.	Дата					

Графическая часть

Инв.№подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					
Изм.	Кол.уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата	ГК №4134/18-Т5Ч29	Лист
							31



- Условные обозначения:
- **Фролово** – место расположения метеостанции;
 - **х.Нижнянский** – место расположения гидрологического поста;
 - **Ветютнев** – место расположения населенного пункта, в котором производится определение уровня затопления.

						ГК №4134/18-Т5429		
						Определение границ зон затопления на территории Волгоградской области		
Изм.	Коп.	Лист.	№ док.	Подпись	Дата	Городаищенский муниципальный район	Стария.	Лист.
ГИП	Карлин						П	1
Инженер	Ибрагимова					Обзорная карта Волгоградской обл.	АО "ВОЛГОВОДПРОЕКТ"	
Н.контр.	Саенко							



Условные обозначения:

- Зона затопления 1% обеспеченность

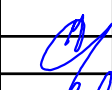
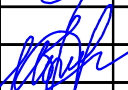
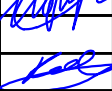
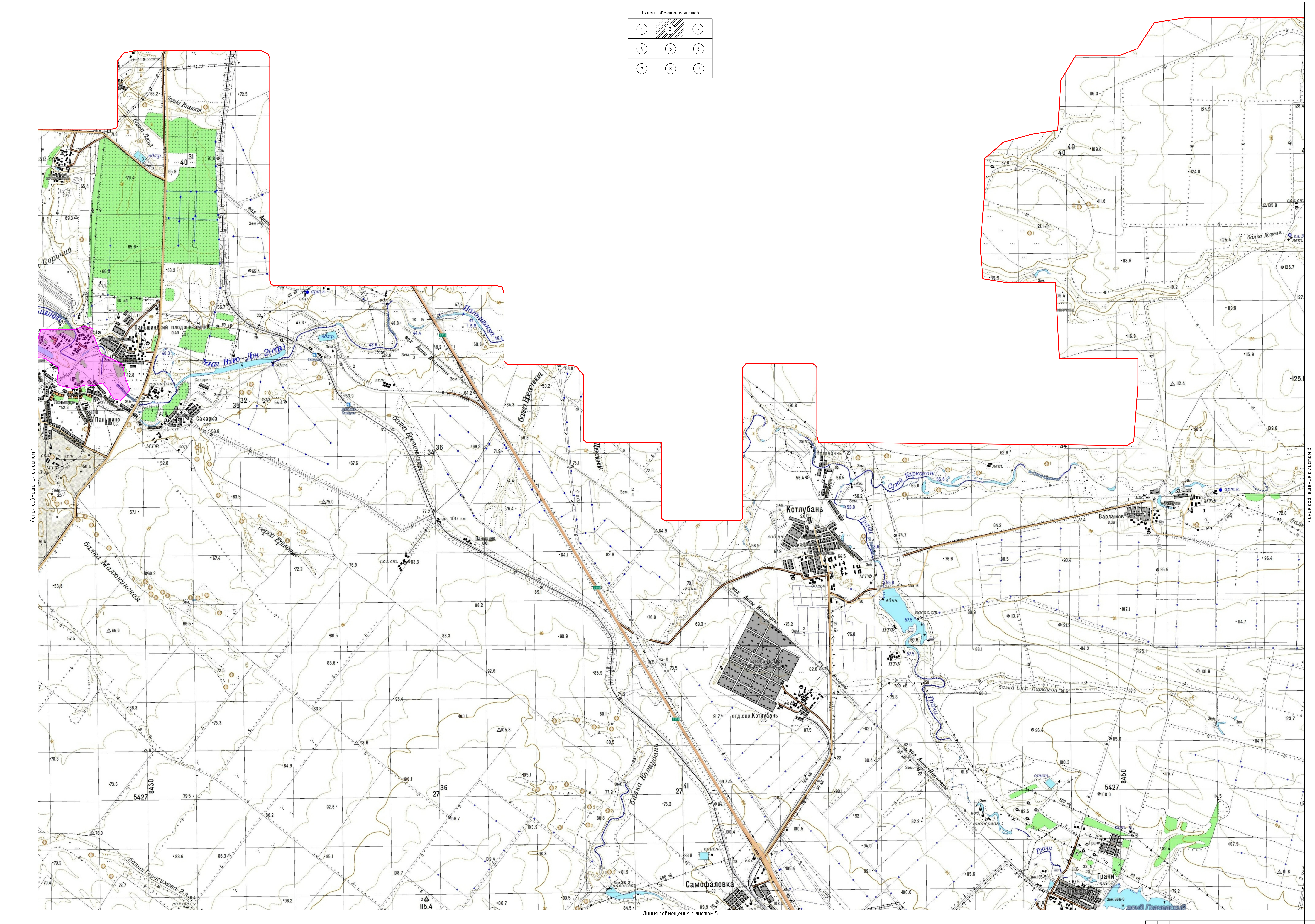
ГК №4134/18-Т5429					
Определение границ зон затопления на территории Волгоградской области					
Изм.	Кол.	Лист.	№ док	Подпись.	Дата.
ГИП		Карлин			
Инженер		Литвинов			
Н.контр.		Саенко			
Городищенский муниципальный район				Стадия.	Лист.
				П	1
Схема Городищенского района. Волгоградская обл.				Листов.	1
				АО "ВОЛГОВОДПРОЕКТ"	

Схема совмещения листов		
1	2	3
4	5	6
7	8	9



Условные обозначения:
— Зона заполнения 1% обеспеченность
— Граница района

ГК №4/134/18-Т5429				
Определение границ зон заполнения на территории Волгоградской области				
Изм.	Кол.	Лист №	Век	Подпись
ГИП	Карлин	Городищенский муниципальный район	Степан	Лист
Инженер	Литвинов	Корпа заполнения хутора Паньшино. М125000	П	2
Исполн.	Савенко	АО "ВОЛГВОДПРОЕКТ"	Лист	9

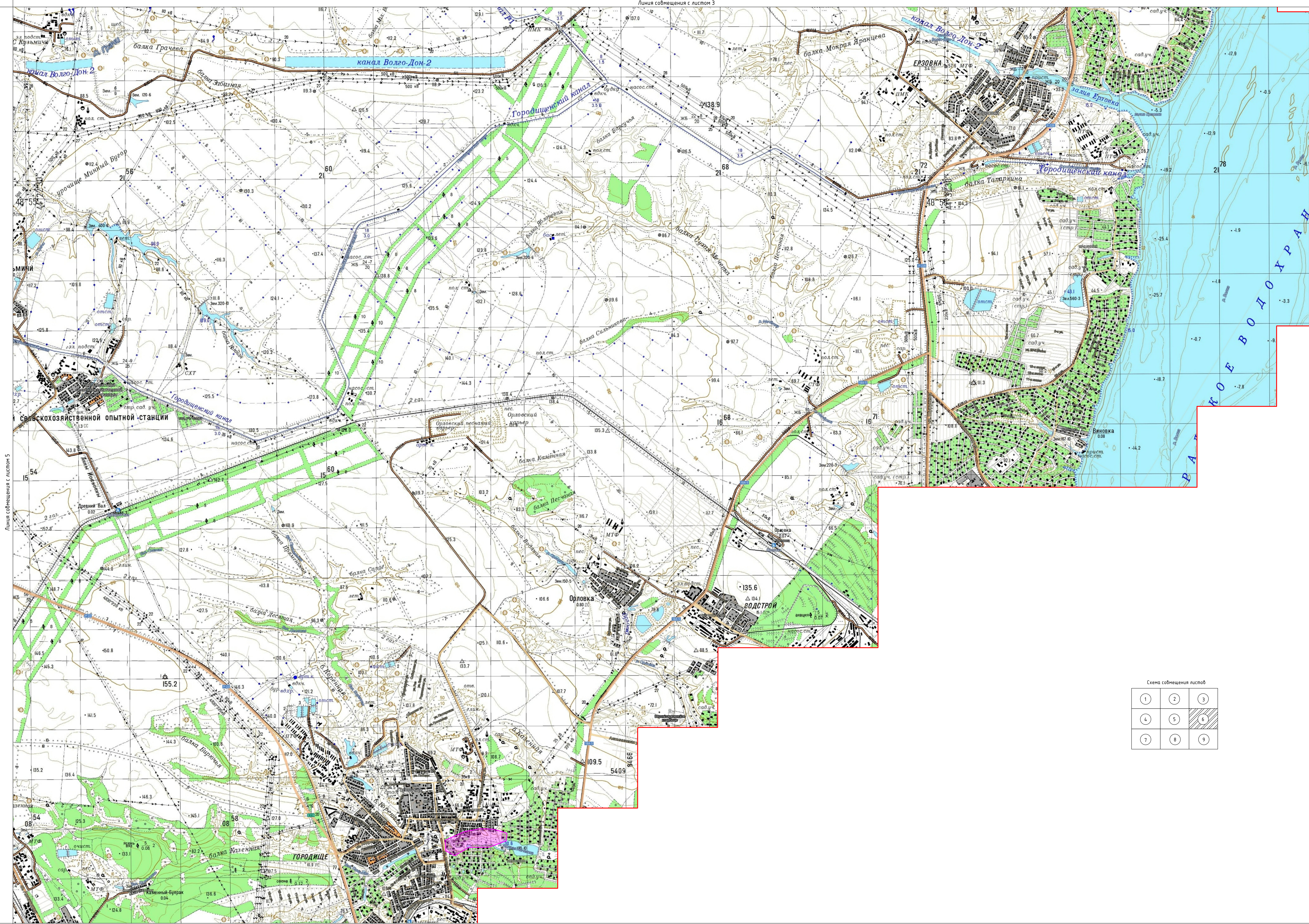


Схема сообщения листов

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Условные обозначения:

- Зона затопления 1% обеспеченности
- Граница района

ГК №4/34/18-Т5429				
Определение границ зон затопления на территории Волгоградской области				
Изм.	Кол.	Лист №	Век	Полный
Гип	Карлин	3		
Инженер	Литвинов	4		
Исполн	Савенко	5		
Городищенский муниципальный район				
Карта затопления рабочего посёлка Городище. М1:25000				
АД "ВОЛГВОДПРОЕКТ"				