



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-Т5Ч12

Том 5. Часть 12. Котовский муниципальный район.

Инва. № 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

III этап

Определение границ зон затопления

ГК №4134/18-Т5Ч12

Том 5. Часть 12. Котовский муниципальный район.

Генеральный директор



А.А. Хатько

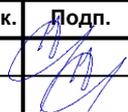
Главный инженер проекта

В.Н. Карлин

г. Волгоград 2019 г.

Оглавление

Глава1. Описание методов определения.....	3
1.1. Определение расчетных уровней горизонтов воды по водотокам Котовского района гидрометрическим методом.....	6
1.2. Определение положения зон затопления методом прямого гидродинамического моделирования затопления территорий.....	7
1.2.1. Построение цифровой модели местности.....	9
1.2.2. Модель динамики поверхностных вод.....	12
1.2.3. Основные уравнения.....	14
1.2.4. Модель источников и стоков воды.....	16
1.2.5. Численный алгоритм расчета динамики затопления.....	17
Глава2. Результаты определения границ зон затопления, описание объектов расположенных в границах зон затопления.	19
2.1 Результаты определения по гидрометрическому методу.....	19
2.2. Результаты расчетов по методу прямого гидродинамического моделирования.	19
2.3 Определение местоположения границ зон затопления.	22
2.4 Описание объектов расположенных в границах зон затопления.....	22
Заключение.....	23
Список литературы.....	24
Графическая часть.....	31
Обзорная карта Волгоградской области.	32
Схема Котовского района. Волгоградская обл.....	33
Карта затопления г. Котово. М1:25000.....	34
Карта затопления с. Коростино. М1:25000.....	35

Взам. инв. №		Подп. и дата												
Инв. №подл.		Изм.		Лист		Недок.		Подп.		Дата	ГК №4134/18-Т5Ч12			
		Разраб.		Карлин						2019 г.	Определение границ зон затопления	Стадия	Лист	Листов
		ГИП		Карлин						2019 г.		П	2	
		Н.контр.		Саенко						2019 г.		АО «Волговодпроект» г. Волгоград 2019 г.		

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	Закрыт
4	78021	р. Дон - Новогригорьевская	
5	78022	р. Дон - Трехостровская	Закрыт 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	Закрыт
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	Закрыт
15	78218	р. Терса – пгт Елань	
16	78219	р. Терса – пгт Рудня	Закрыт
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-Т5Ч12	Лист
							3

№№	Индекс	Название станции
11	34373	Палласовка
12	34461	Иловля
13	34476	Эльтон
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.

На основании договоров №53/07-31 от 29.11.2018 г., №53/07-09 от 27.02.2019 г., №53/07-11 от 20.03.2019 г., писем №53/07-89 от 17.12.2018 г., №53/07-29 от 13.03.2019 г., №53/07-36 от 27.03.2019 г., необходимая информация была представлена и на ее основе выполнены гидрологические расчеты по определению горизонтов воды в р. Малая Казанка в створе города Котово и села Коростино.

Гидрологические расчеты проводились двумя методами.

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

Второй метод - прямое гидродинамическое моделирование затопления территорий.

Инв. №подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата	ГК №4134/18-Т5Ч12	



Рис. 1

1.1. Определение расчетных уровней горизонтов воды по водотокам Котовского района гидрометрическим методом

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

Также использовались:

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

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

Изм.	Кол.уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата

ГК №4134/18-Т5Ч12

Лист

6

Формат А4

лись 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.

В качестве исходных данных использовались продольные профили уровней воды в реке Малая Казанка в меженный 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 реки Малая Казанка и размеров поймы использовались топографические материалы, выполненные АО «Волговодпроект». К ним относятся поперечные профили р. Малая Казанка 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 (ЦММ).

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

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	ГК №4134/18-Т5Ч12	Лист
							8

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 2 показаны основные этапы построения ЦМР.

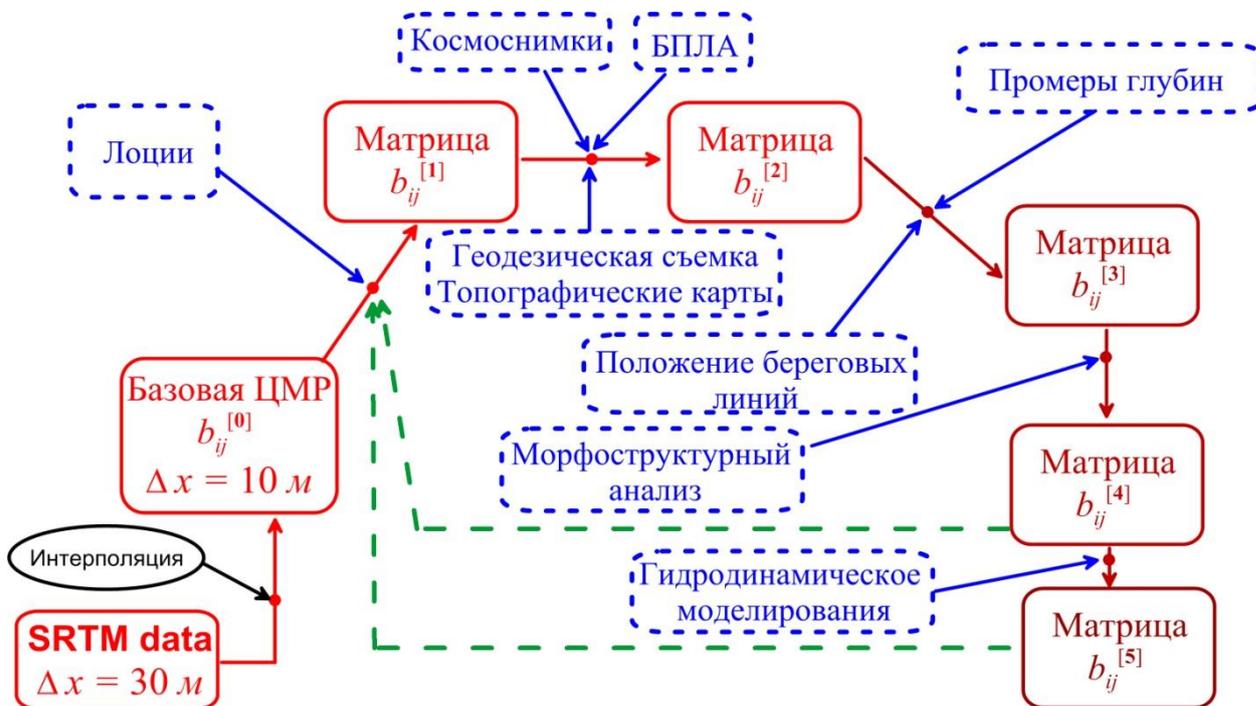


Рис. 2. Этапы и последовательность создания ЦМР.

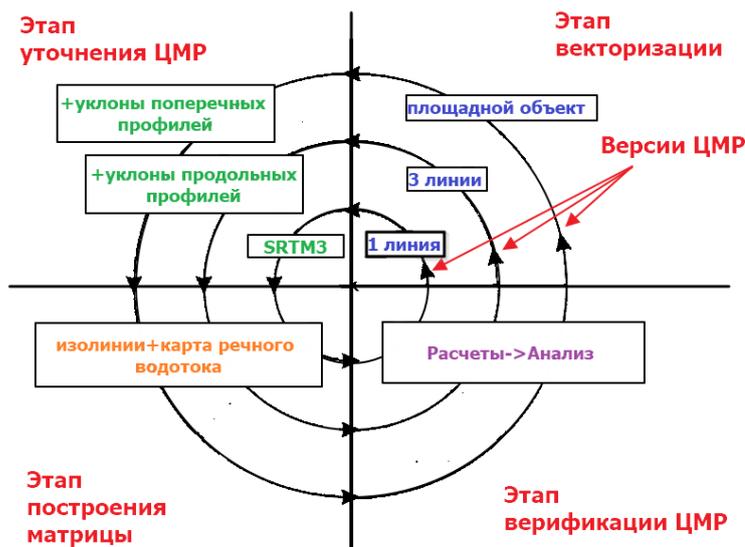


Рис. 3. Модель процесса разработки уточнения ЦМР.

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

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

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 $s(x_i, y_j)$:

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

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

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 р. Малая Казанка.

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

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист	
			ГК №4134/18-Т5Ч12					10
			Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.		

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;
- 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.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
			ГК №4134/18-Т5Ч12				
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

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].

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 многочис-

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
Изм.	Коп.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	ГК №4134/18-Т5Ч12	

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

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	ГК №4134/18-Т5Ч12	

1.2.3. Основные уравнения

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

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(Hu_x)}{\partial x} + \frac{\partial(Hu_y)}{\partial y} = q, \quad (1)$$

$$\frac{\partial(H\mathbf{u})}{\partial t} + \nabla(H\mathbf{u} \otimes \mathbf{u}) = -gH\nabla\eta + H\mathbf{f}, \quad (2)$$

$$\mathbf{f} = \mathbf{f}^{frict} + \mathbf{f}^{Cor} + \mathbf{f}^{wind} + \mathbf{f}^{visc}, \quad (3)$$

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 4.

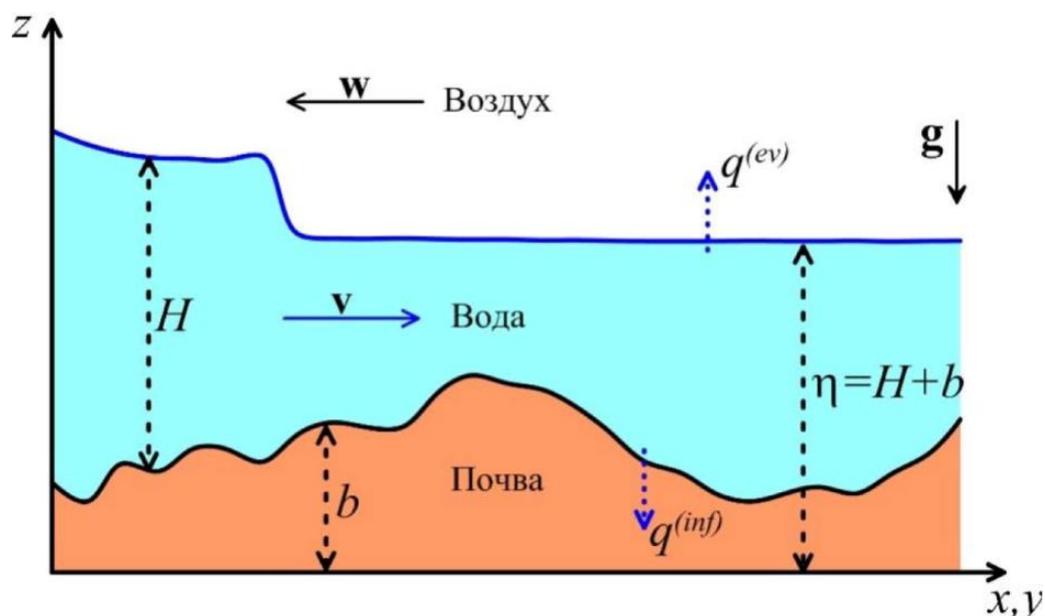


Рис. 4. Схема, поясняющая обозначения математической модели.

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

Изм.	Кол.уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата

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

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

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

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 $C_\nu \approx 0.4$ – эмпирическая постоянная, h^2 – площадь расчетной ячейки.

Для силы ветра имеем:

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

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

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

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

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

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

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

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

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

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:

I. 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 $\mathbf{r}_i = (x_i, y_j)$, временные слои t_n имеют неравномерный шаг $\tau_n = t_n - t_{n-1}$, (n обозначает индекс временного слоя),

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

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

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

стояние между частицами.

II. Эйлеров этап

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

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

Изм.	Кол.уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата

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 $\mathbf{G}_{i\pm 1/2,j}^{n+1/2}$ 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:

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

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 5 показана компьютерная реализация метода CSPH-TVD на графических процессорах в виде последовательности выполнения CUDA-ядер на разных этапах нашего алгоритма.

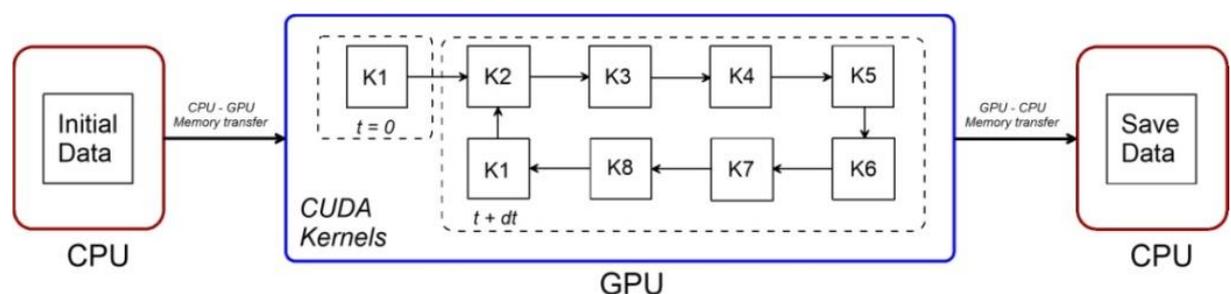


Рис. 5: Блок-схема для каждого модуля расчета:

Изм. №	Подп. и дата	Взам. инв. №
Изм. №	Подп. и дата	Взам. инв. №

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

- К1 определяет наличие воды в блоке CUDA;
 К2 рассчитывает силы в момент времени t_n на лагранжевом этапе;
 К3 рассчитывает шаг по времени;
 К4 рассчитывает новые положения частиц и их интегральные характеристики во времени $t_{n+1/2}$;
 К5 определяет силы на временном слое $t_{n+1/2}$;
 К6 рассчитывает положения частиц и их интегральные характеристики для следующего временного слоя t_{n+1} ;
 К7 рассчитывает поток физических величин через границы ячеек в момент времени $t_{n+1/2}$;
 К8 определяет конечные гидродинамические параметры в момент времени t_{n+1} .

Глава 2. Результаты определения границ зон затопления, описание объектов расположенных в границах зон затопления.

2.1 Результаты определения по гидрометрическому методу.

Таблица 3

		1%	3%	5%	10%	25%	50%
1	г. Котово – р. Малая Казанка	139.05	138.88	138.62	138.20	137.49	136.55
2	с. Коростино – р. Малая Казанка	106.58	106.03	105.77	105.35	104.59	103.65

2.2. Результаты расчетов по методу прямого гидродинамического моделирования.

1. г. Котово (р. Малая Казанка)

Таблица 4. Параметры расчета

Обеспеченность	1%	3%	5%	10%	25%	50%
Объемный расход Q (м ³ /с)	358	281	198.5	116	61	17
Отметки уровней (м)	139.18	138.71	138.53	138.17	137.32	136.43
Время расчета t (часы)	1656	1320	960	600	360	180
Площадь затопления S (км ²)	4.56	4.12	3.73	3.23	2.73	1.82
Коэффициент Маннинга n	0.1					
Кол-во источников	2					
Гидрограф	Q_{min}	ΔQ	Q_{max}	расположение источников		
	5	5	330	р. Малая Казанка		
	1	0.5	33.5	приток		

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. №подл.

ГК №4134/18-Т5Ч12

Лист

19

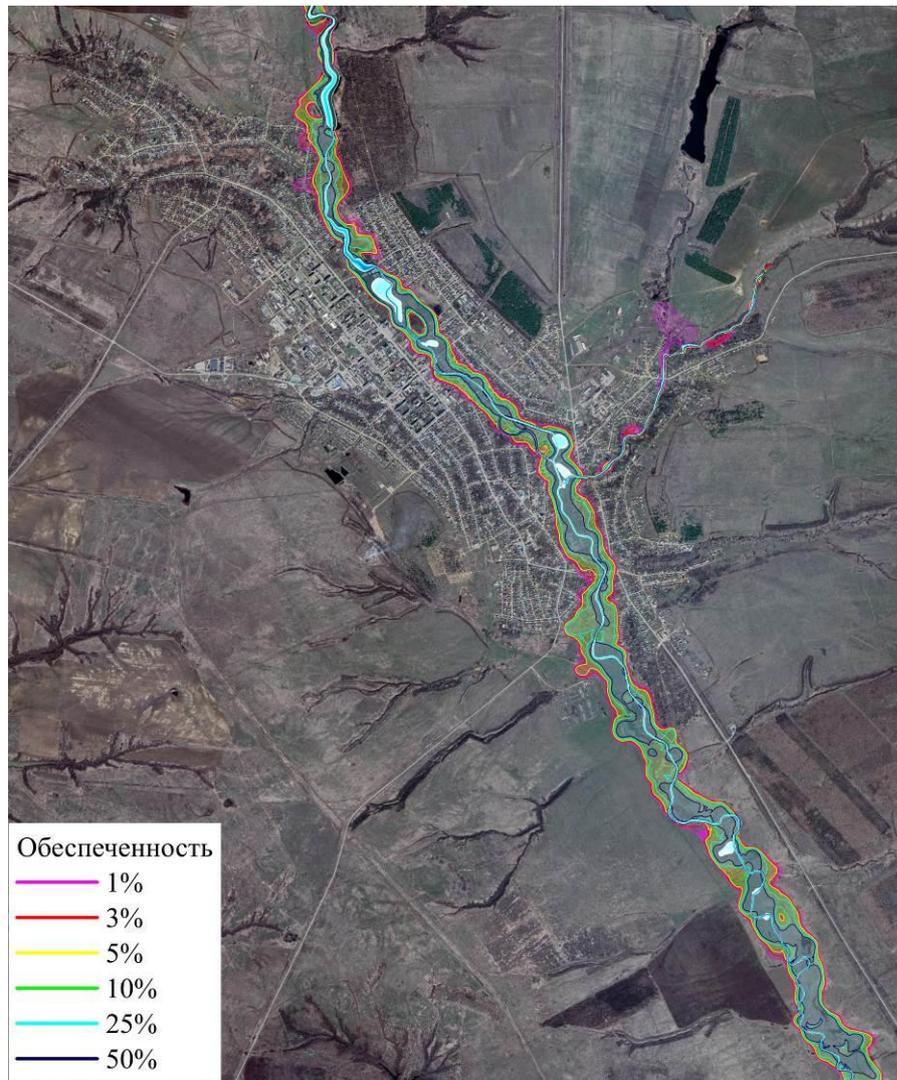


Рис. 6: Границы зон затопления в окрестности г. *Котово* при различной обеспеченности на космическом снимке. Сплошные линии соответствуют границам с глубиной 0.1 м, полупрозрачная цветная заливка соответствует зонам затопления заданной обеспеченности.

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

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

ГК №4134/18-Т5Ч12

Лист

20

Формат А4

2. с. Коростино (р. Малая Казанка)

Таблица 5. Параметры расчета

Обеспеченность	1%	3%	5%	10%	25%	50%
Объемный расход Q (м ³ /с)	325	305	240	215	205	190
Отметки уровней (м)	106.43	106.09	105.68	105.24	104.62	103.51
Время расчета t (часы)	1656	1560	1260	1140	1080	1020
Площадь затопления S (км ²)	1.79	1.62	1.28	1.10	1.02	0.87
Коэффициент Маннинга n	0.1					
Кол-во источников	1					
Гидрограф	Q_{min}	ΔQ	Q_{max}	расположение источников		
	5	5	330	р. Малая Казанка		

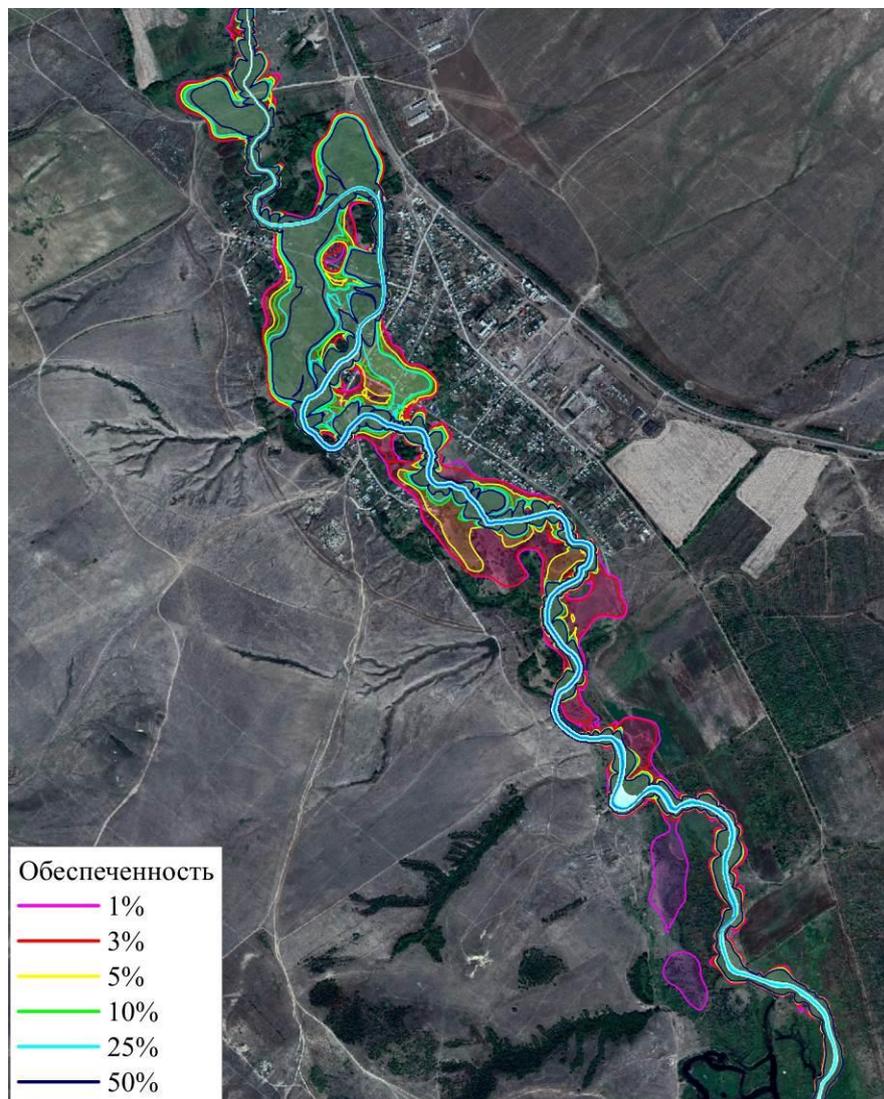


Рис. 7: Границы зон затопления в окрестности с. **Коростино** при различной обеспеченности на космическом снимке. Сплошные линии соответствуют границам с глубиной 0.1 м, полупрозрачная цветная заливка соответствует зонам затопления заданной обеспеченности.

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

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

ГК №4134/18-Т5Ч12

Лист

21

Заключение

На территорию Котовского 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. №					Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	ГК №4134/18-Т5Ч12	

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 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**, N10. 2040–2050.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					ГК №4134/18-Т5Ч12	Лист
								24
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата			

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.
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.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
Изм.	Коп.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	ГК №4134/18-Т5Ч12	

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.
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

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
			ГК №4134/18-Т5Ч12				
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

- 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 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 "Совре-*

Инв.№подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					ГК №4134/18-Т5Ч12	Лист 27
			Изм.	Кол.уч.	Лист	№док.		

- менные 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 декабря 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 эколога-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.

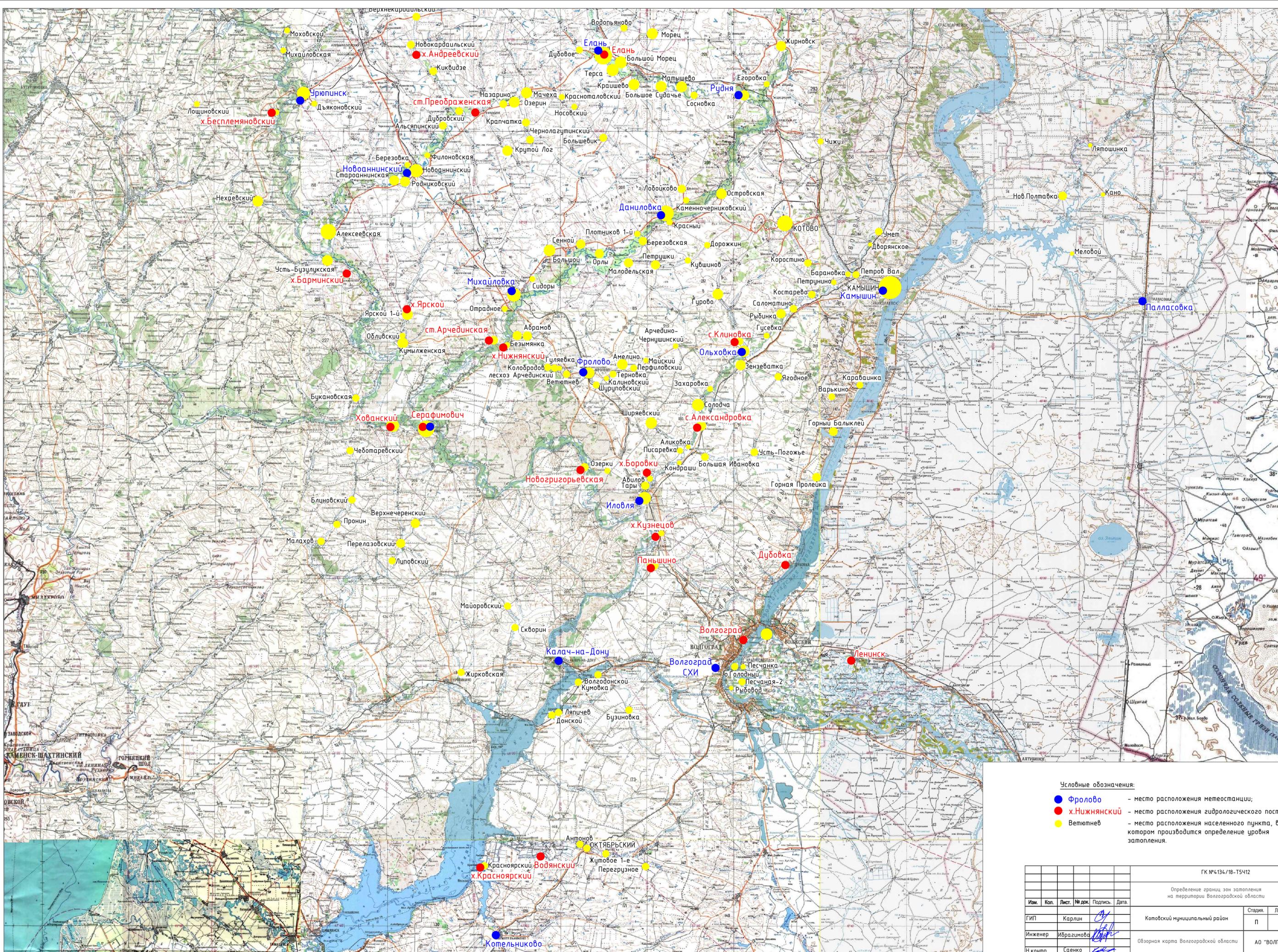
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
			ГК №4134/18-Т5Ч12				
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

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.
54. Khrapov S., Khoperskov A. Smoothed-particle hydrodynamics models: implementation features on GPUS // Communications in Computer and Information Science. 2017. Т. 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. Т. 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

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №					Лист
			ГК №4134/18-Т5Ч12				
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

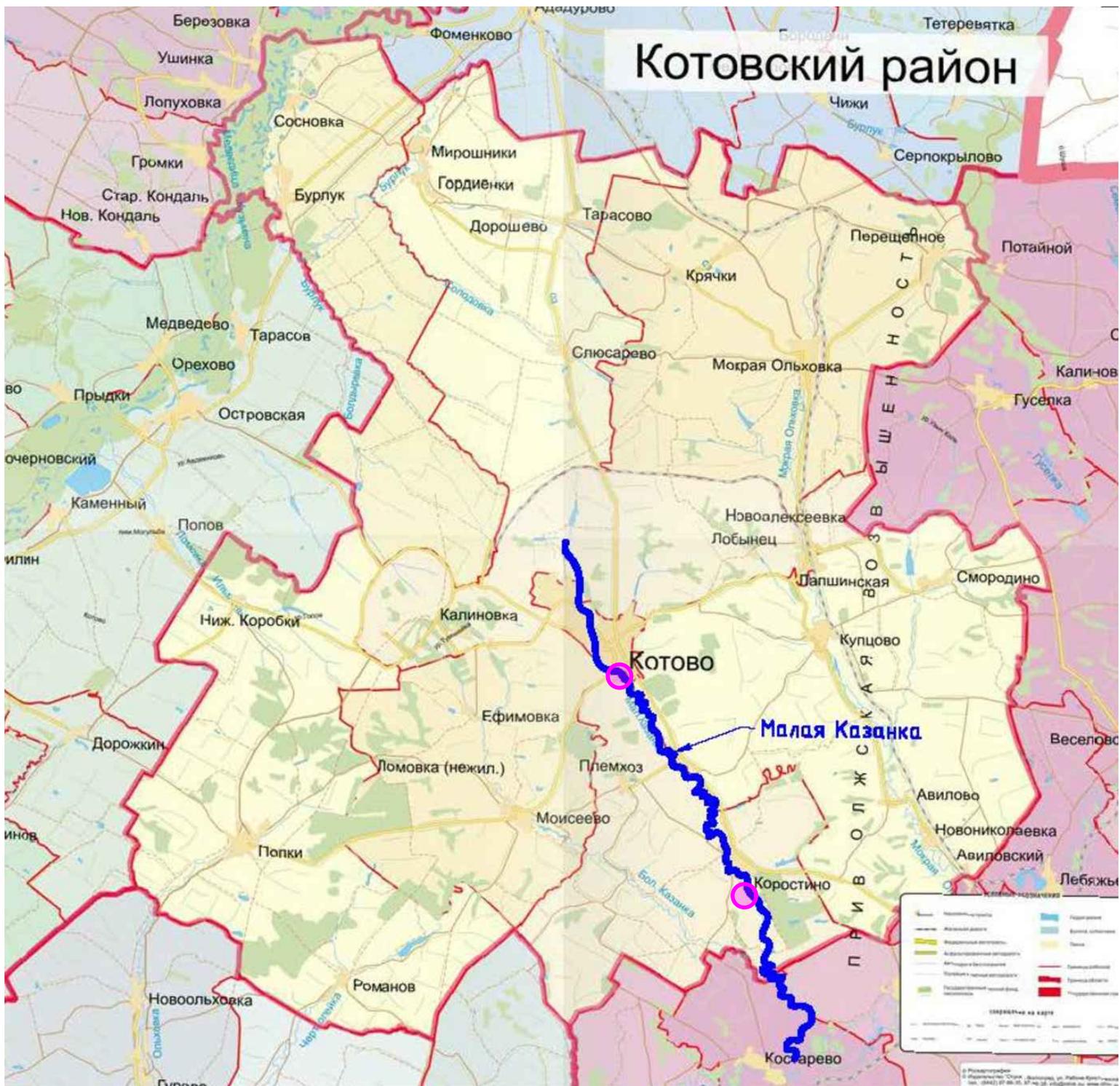
- 62. Dyakonova, T., Khoperskov, A. Flow resistance in a variable cross section channel within the numerical model of shallow water // Journal of Physics: Conference Series 1128(1), 012014
- 63. Кликунова А.Ю., Хоперсков А.В. Построение цифровых моделей рельефа местности для речных пойм // Сборник трудов 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. №					Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	ГК №4134/18-Т5Ч12	



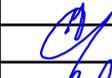
- Условные обозначения:
- Фролово – место расположения метеостанции;
 - х.Нижнянский – место расположения гидрологического поста;
 - Ветятнев – место расположения населенного пункта, в котором производится определение уровня затопления.

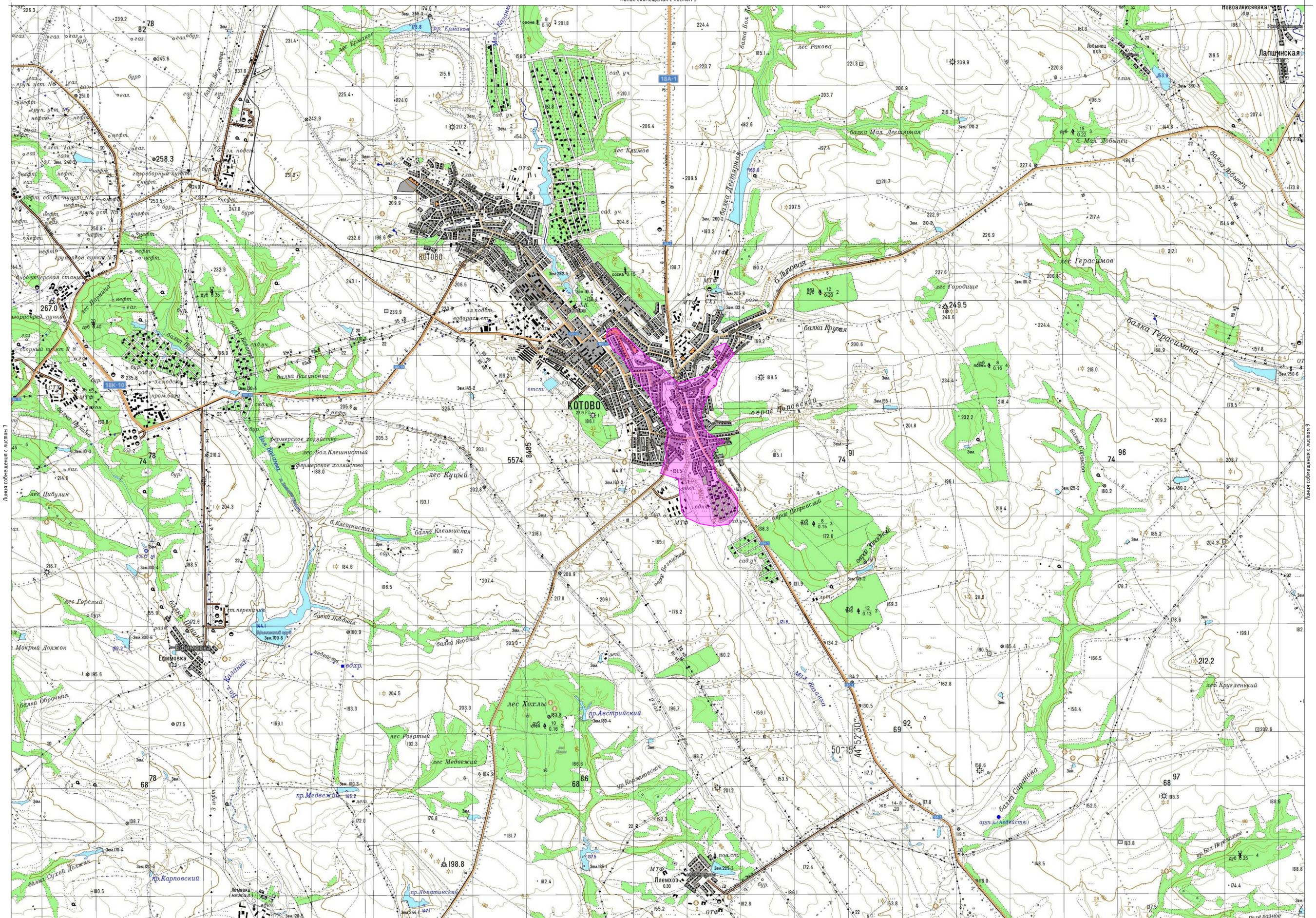
						ГК №4134/18-Т5412		
						Определение границ зон затопления на территории Волгоградской области		
Изм.	Коп.	Лист.	№ док.	Подпись	Дата	Котовский муниципальный район		
ГИП	Карлин					Стария	Лист.	Листов.
Инженер	Ибрагимова					П	1	1
Н.контр.	Саенко					Обзорная карта Волгоградской области		
						АО "ВОЛГОВОДПРОЕКТ"		



Условные обозначения:

- Зона затопления 1% обеспеченность

ГК №4134/18-Т5412						
Определение границ зон затопления на территории Волгоградской области						
Изм.	Кол.	Лист.	№ док	Подпись.	Дата.	
ГИП		Карлин				
Инженер		Литвинов				
Н.контр.		Саенко				
Котовский муниципальный район				Стадия.	Лист.	Листов.
Схема Котовского района. Волгоградская обл.				П	1	1
АО "ВОЛГОВОДПРОЕКТ"						



Линия совмещения с листом 7

Линия совмещения с листом 9

Условные обозначения:

- Зона заполнения 1% обеспеченность
- Граница района

Изм.		Кол.		Лист №		Вариант		Дата	
Инженер		Литвинов		Савенко		Савенко		18.08.2009	
Генеральный директор		Савенко		Савенко		Савенко		18.08.2009	

ГК №134/08-Т5402
 Определение границ зон заполнения на территории Вологодской области
 Вологодский муниципальный район
 Карта заполнения «Котово» №125000
 АО "ВОЛГОДПРОЕКТ"

