

Исследование термического режима и оценка теплового загрязнения в приплотинной части Камского водохранилища

В.М. Носков

Пермский государственный университет

Тепловое загрязнение возникает вследствие сброса подогретых выше естественной температуры вод, используемых для охлаждения конденсаторов турбин тепловых и атомных электростанций. Крупные тепловые электростанции мощностью 2100-2400 мВт забирают для охлаждения своих агрегатов 70-90 м³/с воды, а для охлаждения атомных электростанций воды требуется в полтора раза больше. Такое большое количество воды и определило тот факт, что ГРЭС и АЭС строятся на берегах больших водных объектов – водохранилищ, которые стали выполнять еще одну функцию – функцию водоема – охладителя.

Рассматриваемый участок входит в третий гидрографический район водохранилища по районированию Ю.М. Матарзина и находится в 65 км выше плотины Камской ГЭС. Расстояние между началом подводящего канала и водосливом отводящего канала составляет 4,5 км. Затопленное русло р.Камы по мере движения от верхней границы участка вниз все более отклоняется к правому берегу и на траверзе г. Добрянки почти примыкает к нему. Ширина затопленного русла изменяется от 0,3 до 0,5 км. Большую часть участка занимает затопленная пойма с глубинами от 5 до 10 м, которая распространяется вдоль левого берега и ширина ее увеличивается от 1 км на верхней границе участка до 3,5 км на нижней. В центральной части участка расположен затопленный остров, глубина над ним не превышает 1,5 м. Ширина участка изменяется от 2,5 км на верхней границе до 4,2 км в средней части участка и до 2,2 км в нижней части. В ледоставный период при сработке водохранилища по границе семиметровой изобаты лед лежит на грунте.

Режим течений данного участка довольно сложен. Течения русловой части значительно отличаются от течений на затопленной пойме. В русловой части преобладают проточные течения, направленные к плотине и повторяемость их составляет 70%. Они постоянны и наблюдаются в течение всего года (табл.1).

Таблица 1

Повторяемость проточного течения с азимутом 121-210 град.
в зависимости от направления ветра на глубоководной вертикали

Направление ветра	Повторяемость течения %	Направление ветра	Повторяемость течения, %
ССЗ-З	82,4	ЮЮЗ-ЮЗ	66,6
ЮЮВ-Ю	46,2	ССВ-СВ	55,6

ЗЮЗ-З	57,8	ЗСЗ-СЗ	66,8
ВСВ-В	90,0	ВЮВ-ЮВ	58,3

Остальные 30% приходятся на ветровые течения. Среднемесячная скорость течения изменяется от 27 см/с в мае до 6 см/с в августе и сентябре.

На левобережной затопленной пойме, примыкающей к отводящему каналу ГРЭС, преобладают ветровые течения.

Основные закономерности в формировании термики рассматриваемого района аналогичны закономерностям для всего водохранилища, т.е. периоды термического цикла характеризуются гомотермией в периоды весеннего нагревания и осеннего охлаждения, прямой стратификацией в период летнего нагревания и обратной стратификацией в период зимнего охлаждения. Температура воды в поверхностном слое во время наибольшего прогрева достигает 21-23°. В это же время на русловой вертикали в придонном горизонте температура воды составляет 15-18 градусов. В зимний период величина разности между поверхностными и придонными температурами очень незначительна и составляет 0,2° (табл.2).

В морфометрическом отношении III гидрографический район занимает особое положение: объем его глубоководной зоны примерно в десять раз больше, чем у других районов. Это оказывает влияние на формирование его термического режима.

Таблица 2

Средняя месячная температура поверхностного слоя воды (1957-1985 гг.) и морфометрические показатели районов Камского водохранилища

Район	Температура воды по месяцам						Объем водной массы, км ³			
	V	VI	VII	VIII	IX	X	Район на	Глубоководной зоны	Мелководной зоны	Средняя глубина района, м
I	6,8	14,8	19,8	17,3	11,3	3,4	1,44	0,048	1,40	3,4
II	7,3	15,3	20,0	17,9	12,2	4,5	5,37	0,113	5,26	6,2
III	6,0	14,8	19,7	18,7	14,1	7,1	2,73	0,961	1,77	15,0
IV	7,2	15,2	19,8	18,3	13,3	5,7	1,97	0,356	1,61	6,3

В период весенне-летнего нагревания здесь теплообменные процессы идут медленнее, чем в других районах, и это подтверждается величинами теплового баланса и данными табл. 2, поэтому температура воды в этот период ниже, чем в других районах.

В период осеннего охлаждения наблюдается противоположная картина. Основную долю в приходной части теплового баланса составляет радиационный баланс. Это относится ко всем месяцам безледоставного периода кроме октября, когда радиационный баланс имеет отрицательное значение. Потери тепла на испарение – наибольшая величина среди расходных составляющих теплового баланса. Она изменяется от -2,03 в мае до -6,53 ккал/см²мес. в августе.

Следующим по величине членом теплового баланса является турбулентный теплообмен с атмосферой, который изменяется от +1,77 в мае до -3,22 ккал/см²мес. в октябре. Наименьшим по величине членом является теплообмен с грунтами дна. Его значения не превышают 1 ккал/см²мес. В довольно широких пределах изменяется величина результирующего члена теплового баланса – изменения теплозапаса водной массы гидрографического района: от +11,1 в мае до -9,51 ккал/см²мес. в октябре. Результаты расчета теплового баланса приведены в табл. 3.

Таблица 3

Тепловой баланс III района Камского водохранилища
(ккал/см² мес.)

Месяц	В	Q _{гр}	LE	Р	W	Н
V	10,2	-0,77	-2,03	1,77	11,1	-1,93
VI	10,7	-0,81	-4,55	-0,10	6,07	-0,83
VII	10,6	-0,58	-5,56	-0,64	2,96	0,86
VIII	6,74	-0,15	-6,53	-1,49	-2,45	1,02
IX	2,22	0,28	-5,47	-1,87	-6,03	1,19
X	-0,80	0,52	-4,27	-3,22	-9,51	1,74
V – X	39,7	-1,51	-28,4	-5,55	2,14	

Условные обозначения: В – радиационный баланс; Q_{гр} – теплообмен с грунтами дна; LE – теплообмен при испарении и конденсации; Р – турбулентный теплообмен с атмосферой; W – изменение теплозапаса водных масс района; Н – невязка теплового баланса.

Приведенные данные являются результатом специализированных наблюдений, проведенных на акватории водохранилища в зоне Пермской ГРЭС по договору с проектирующей организацией – институтом УРАЛАТЭП. В состав наблюдений входило: измерение температуры и влажности воздуха над водной поверхностью, направления и скорости ветра, волнения, направления и скорости течения, температуры воды на поверхности и по глубине. Наблюдения проводились на 14 вертикалях, расположенных на трех профилях в период с 1974 по 1977 г. до создания ГРЭС. После создания ГРЭС наблюдения были продолжены.

Тепловой режим и тепловое загрязнение по фондовым материалам

Источником теплового загрязнения Камского водохранилища является Пермская ГРЭС, расположенная на левом берегу водохранилища в 5 км выше г. Добрянки и в 65 км от плотины Камской ГЭС. Забор воды осуществляется через подводящий канал в 2,5 км выше по течению, сброс – через отводящий канал в 4 км от промплощадки ниже по течению. Запланированная мощность ГРЭС – 4 млн 800 тыс.кВт (6 агрегатов по 800 тыс. кВт каждый). Пока на запланированную мощность ГРЭС не выведена. Циркуляционный расход воды, забираемой на охлаждение конденсаторов, будет изменяться в зависимости от

сезона от 136 м³/с в осенне-зимний период до 142 м³/с в весенне-летний период. Длина подводящего канала до циркуляционной насосной станции 2,3 км, длина отводящего канала 2,4 км. Водоснабжение ГРЭС осуществляется по прямоточной системе.

Отводящий канал имеет трапецидальный профиль с заложением откосов 1:3 и рассчитан на пропуск летнего расхода в 142 м³/с при работе пяти блоков (Проектные данные по Пермской ГРЭС). Глубина канала – от 1,5 до 3,0 м. Расчетная скорость при максимальном расходе составляет 1,39 м/с. Отводящий канал заканчивается сопрягающим сооружением, предназначенным для обеспечения нормального режима работы канала в условиях значительного изменения уровней воды в водохранилище в течение года. Сооружение представляет из себя безвакуумный водослив практического профиля с водобойным колодцем и рисбермой. Ширина водослива 25 м, отметка порога водослива 105,5 м БС. Отметка дна водобойного колодца 95,0 м БС.

Изменения термического и ледового режима участка Камского водохранилища, подвергающегося тепловой нагрузке

После пуска первых агрегатов Пермской ГРЭС в термическом и ледовом режиме как участка водохранилища в зоне ГРЭС, так и всего морфометрического третьего района вплоть до плотины произошли изменения, которые проявляются круглый год как в безледоставный, так и в ледоставный периоды.

В безледоставный период на участке водохранилища в зоне ГРЭС образуются зоны теплового загрязнения и теплового влияния, где температура воды выше естественной на 3 градуса в случае теплового загрязнения и на 0,1 до 2,9 градуса в случае теплового влияния. Площадь распространения теплых вод по гидродинамическим условиям можно разделить на две зоны: ближнюю, где происходит интенсивное турбулентное перемешивание подогретых и естественных вод и гасится скорость втекающей струи, и дальнюю, где перемешанные и охлажденные воды как более легкие распространяются в поверхностном слое, образуя вышеуказанные зоны, форма и площадь которых определяются в основном направлением, скоростью и продолжительностью действия ветра.

На рис. 1-4 и в табл. 4 представлены результаты гидрометеорологических наблюдений на акватории Камского водохранилища в зоне влияния Пермской ГРЭС, проведенных при одном работающем блоке в 1991 г. и при трех работающих блоках в 1992 г. Анализ материалов показывает, что площади зон теплового влияния и загрязнения в наибольшей степени зависят от направления, скорости и продолжительности действия ветра. Так, по наблюдениям 1986 г. наибольшие площади зоны теплового влияния наблюдались при ветрах северной четверти (5,5; 8,7 км²). В 1991 году количество работающих блоков увеличилось до 3, это привело к увеличению площадей теплового загрязнения от 0,10 – 0,14 км² до 0,12 – 2,5 км². Но в еще

большей степени увеличились площади теплового влияния – от 4,8 – 8,7 до 18,0 км².

Таблица 4

Результаты наблюдений в зоне Пермской ГРЭС

Дата	Кол-во работающих блоков	Расход теплых вод, м ³ /с	Ветер, направление	Ветер, скорость, м/с	Температура забиромой воды, град.	Температура сбрасываемой воды, град.	Разница температур	Площадь теплового загрязнения, км ²	Площадь теплового влияния, км ²
8/10 1986	1	28,3	ЗЮЗ	3	4,7	12,1	7,4	0,12	4,38
15/10 1986	1	28,3	СЗ	6	3,4	11,5	8,1	0,10	8,7
27/10 1986	1	28,3	ССЗ	5	2,6	9,2	6,6	0,14	5,5
14/06 1991	3	84,9	ЗЮЗ	9	22,5	26,8	4,3	0,12	4,0
27/06 1991	3	84,9	ЮЮЗ	4	22,5	29,6	7,1	0,9	5,0
10/07 1991	3	84,9	ЗСЗ	5	21,0	27,6	6,6	0,25	2,25
30/07 1991	3	84,9	ЗЮЗ	4	19,6	27,2	7,6	2,5	9,5
15/08 1991	3	84,9	ЗСЗ	4	15,8	21,0	5,2	0,7	14,0
28/08 1991	3	84,9	ВСВ	2	17,0	24,0	7,0	0,4	3,2
14/09 1991	3	84,9	ЮЗ	5	15,5	19,6	4,1	0,5	18,0
24/09 1991	3	84,9	ЗСЗ	5	10,4	16,3	5,9	0,2	13,0
06/10 1992	3	84,9	СЗ	5	10,4	17,6	7,2	0,4	5,0

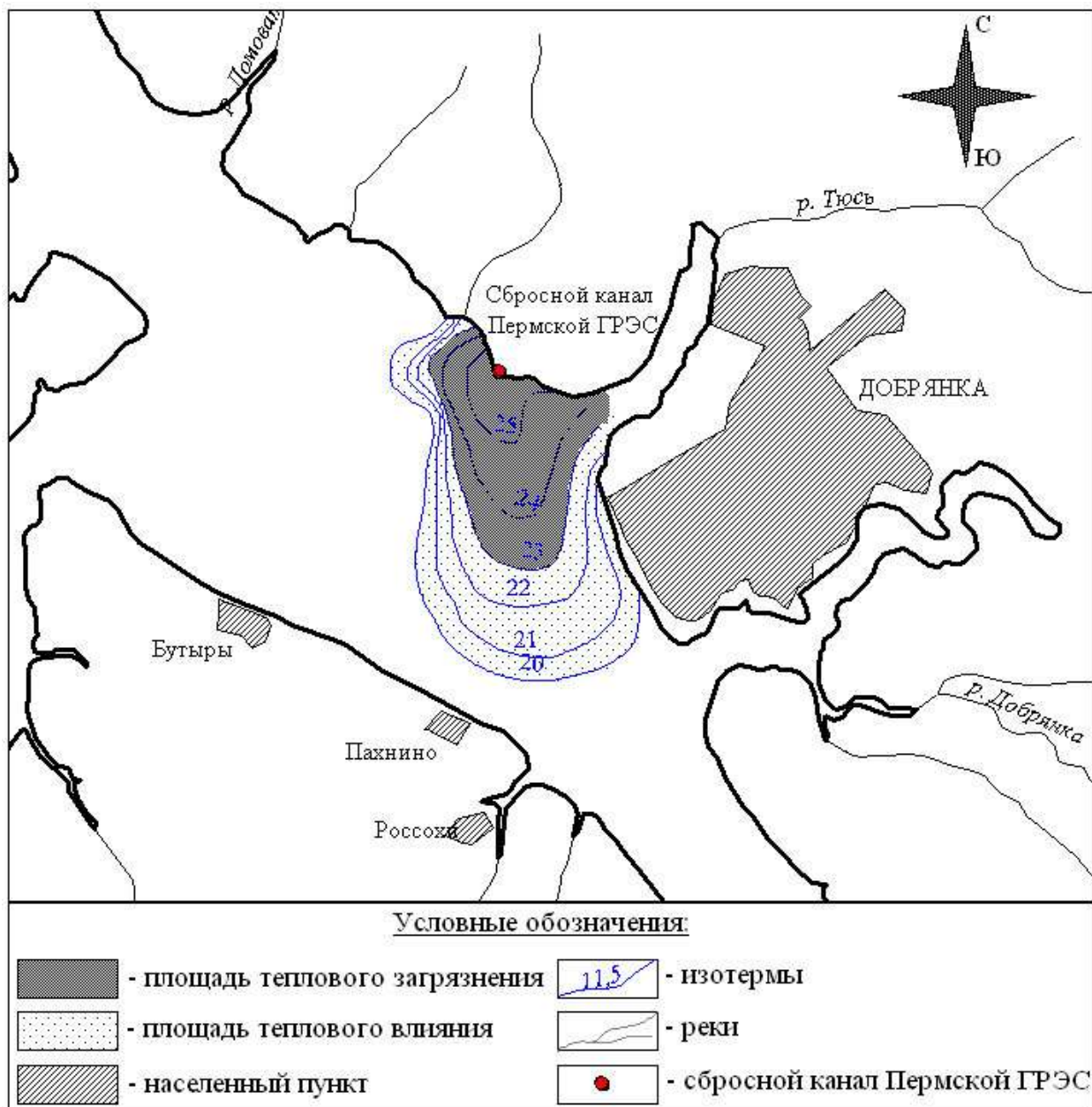


Рис. 1. Схема распределения поля температур и зон теплового загрязнения и теплового влияния на акватории Камского водохранилища в районе Пермской ГРЭС 30 августа 1991 г. ($F_{\text{загр}}=2,5 \text{ км}^2$; $F_{\text{вл}}=9,5 \text{ км}^2$; ветер ЗЮЗ 5 м/с; $t_{\text{сб}}=27,2 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{\text{заб}}=19,6 \text{ }^\circ\text{C}$; $\Delta t=7,6 \text{ }^\circ\text{C}$)

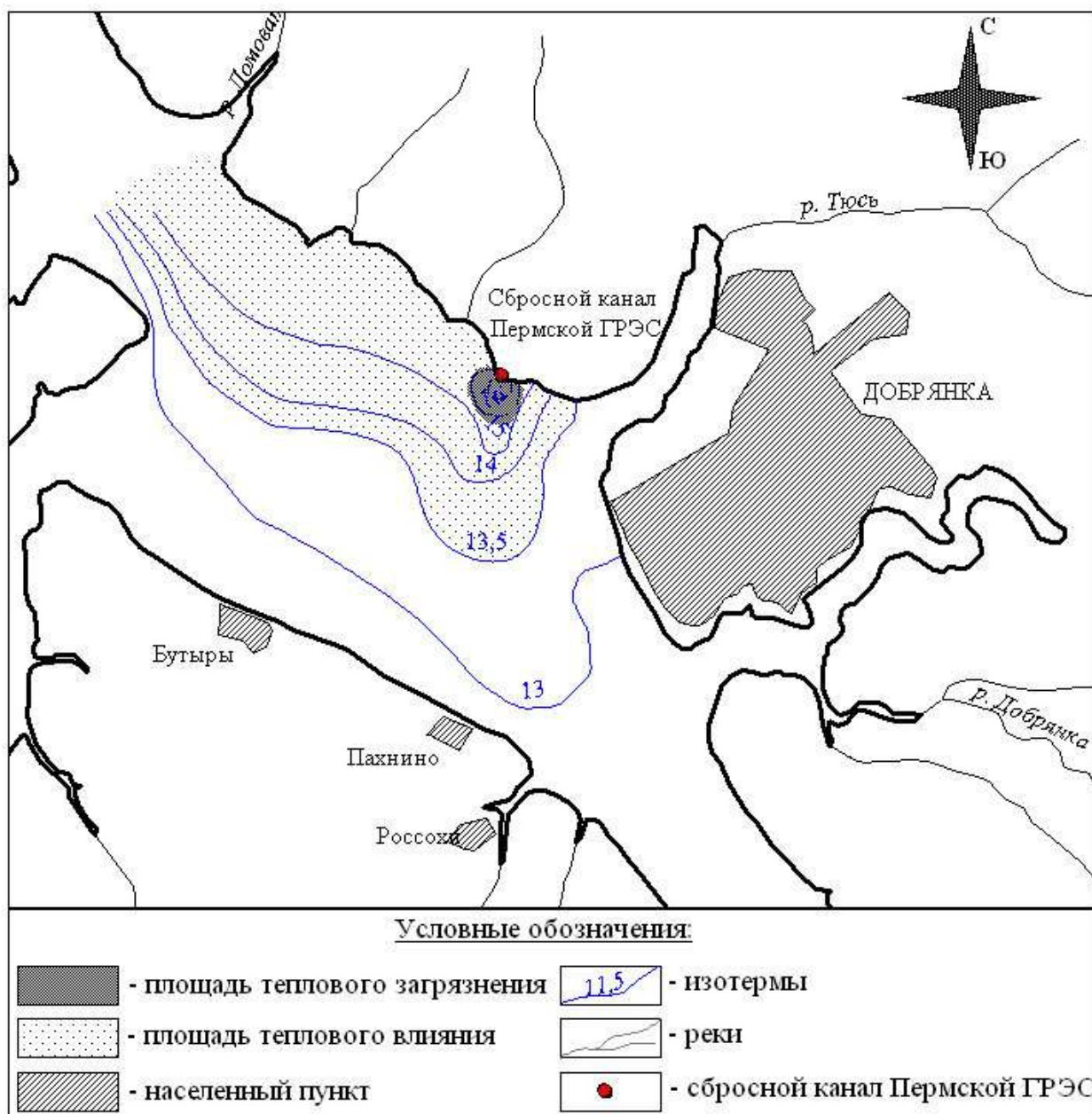


Рис. 2. Схема распределения поля температур и зон теплового загрязнения и теплового влияния на акватории Камского водохранилища в районе Пермской ГРЭС 14 сентября 1991 г. ($F_{\text{загр}} = 0,5 \text{ км}^2$; $F_{\text{вл}} = 18 \text{ км}^2$; ветер ЮЗ 5 м/с; $t_{\text{сб}} = 19,6 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{\text{заб}} = 15,5 \text{ }^\circ\text{C}$; $\Delta t = 4,1 \text{ }^\circ\text{C}$)

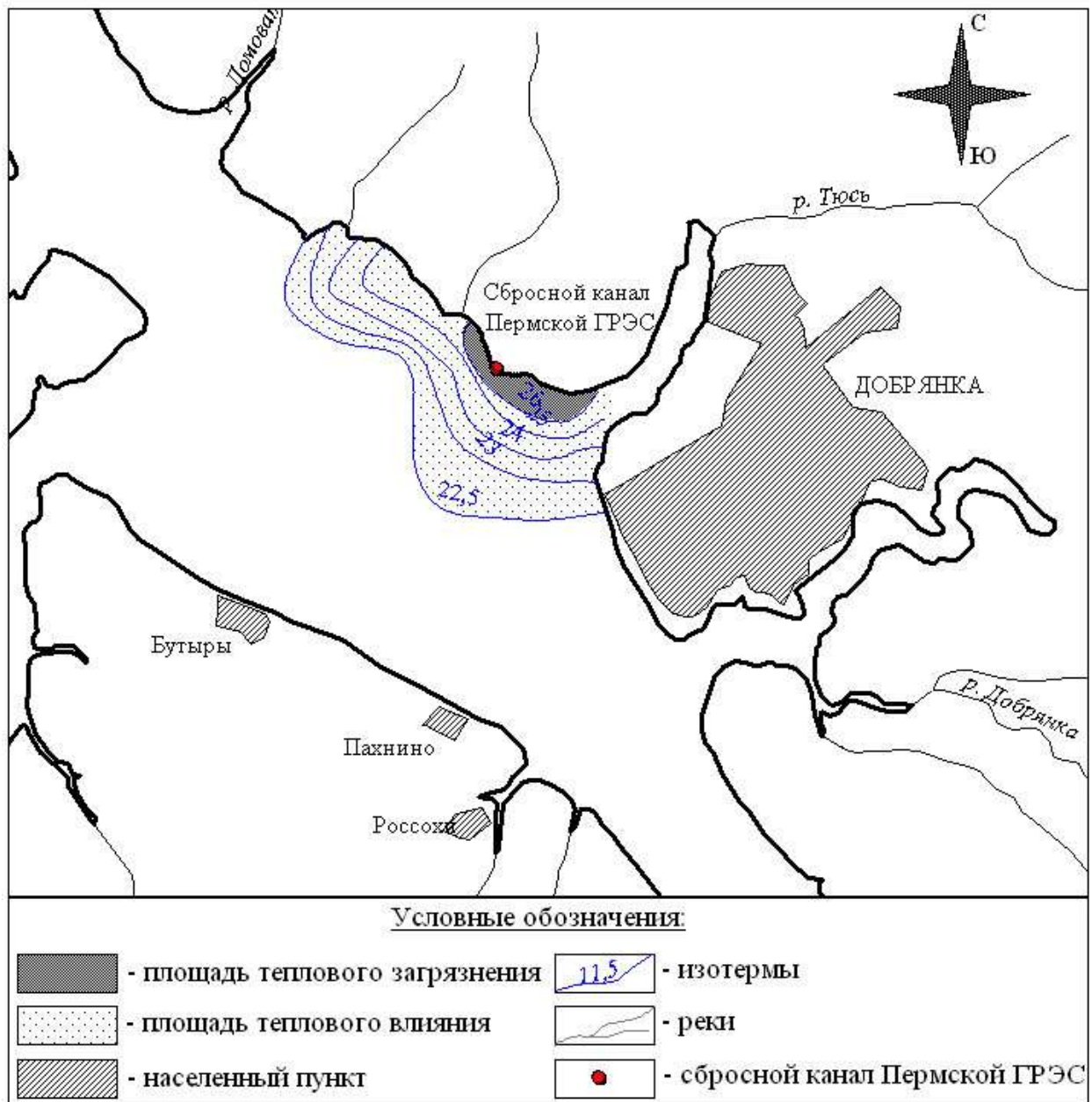


Рис. 3. Схема распределения поля температур и зон теплового загрязнения и теплового влияния на акватории Камского водохранилища в районе Пермской ГРЭС 27 сентября 1991 г. ($F_{\text{загр}}=0,9 \text{ км}^2$; $F_{\text{вл}}=5 \text{ км}^2$; ветер ЮЮЗ 4 м/с; $t_{\text{об}}=29,6 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{\text{заб}}=22,5 \text{ }^\circ\text{C}$; $\Delta t=7,1 \text{ }^\circ\text{C}$)

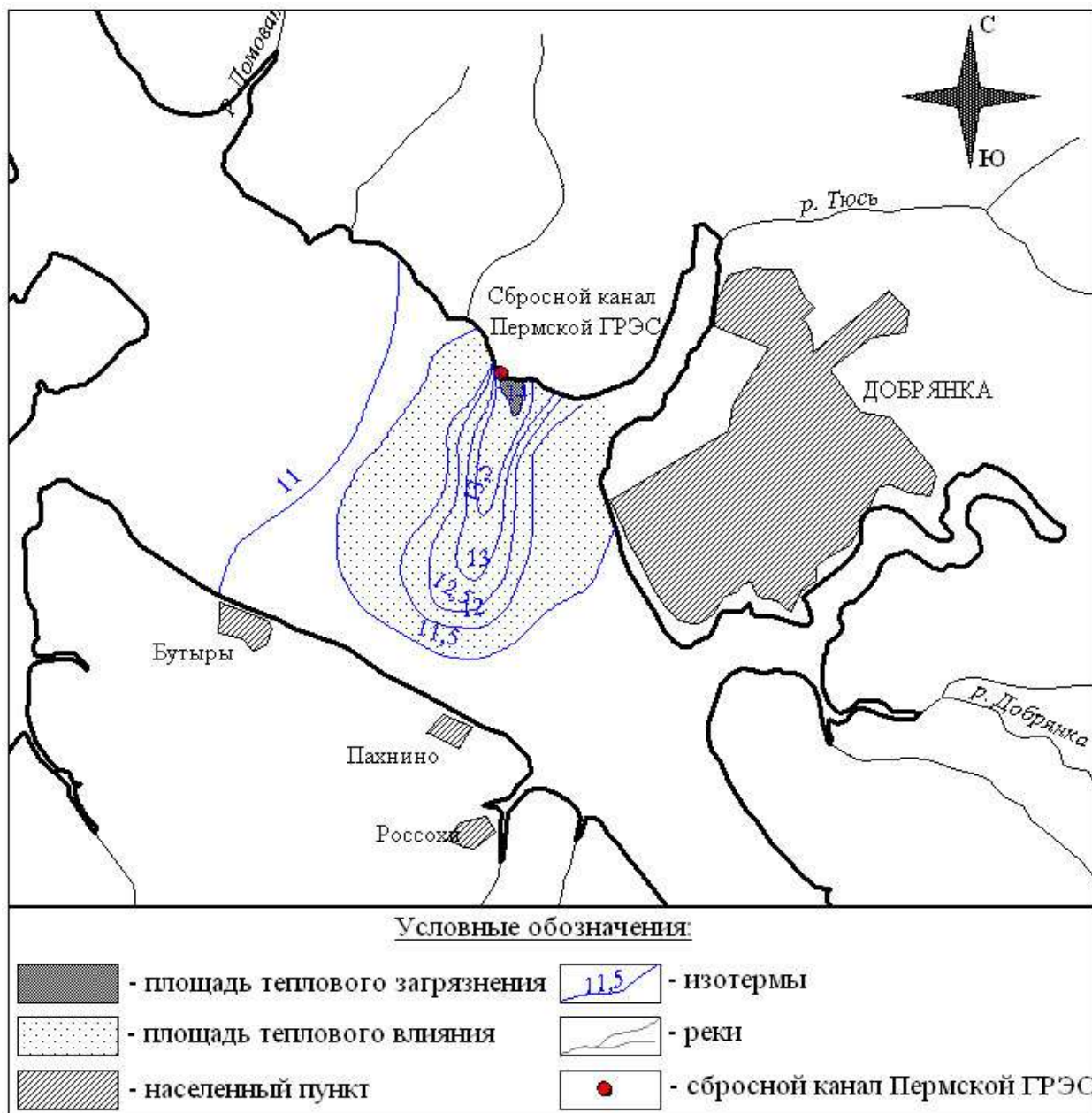


Рис. 4. Схема распределения поля температур и зон теплового загрязнения и теплового влияния на акватории Камского водохранилища в районе Пермской ГРЭС 24 сентября 1991 г. ($F_{загр}=0,2 \text{ км}^2$; $F_{вл}=13 \text{ км}^2$; ветер ЗСЗ 5 м/с; $t_{сб}=16,3 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{заб}=10,4 \text{ }^\circ\text{C}$; $\Delta t=5,9 \text{ }^\circ\text{C}$), где:
 $F_{загр}$ - площадь загрязнения, $F_{вл}$ - площадь влияния, $t_{сб}$ - температура

сбрасываемой воды, $t_{\text{заб}}$ - температура забираемой воды, Δt - величина нагрева воды.

14.09.1991 года зафиксирован случай затока теплых вод в водозаборное сооружение. Это произошло вследствие длительного действия южных и юго-западных, поскольку все сутки 14 сентября и все предыдущие сутки дул ветер южной четверти. Попадание теплых вод в водозаборные сооружения – явление нежелательное, поскольку может произойти перегрев конденсаторов турбин и снижение КПД станции.

Еще большие изменения произошли зимой в период ледостава. Наблюдения за температурой воды и толщиной льда проводились на двух вертикалях в 5 км ниже водовыпуска, а также на вертикали в 50 км ниже водовыпуска в 7 км выше плотины Камской ГЭС. Наблюдения за температурой проводились и в отводящем канале ГРЭС.

Наблюдения в канале как при одном, так и при двух работающих блоках показали, что температура воды в нем в течение зимнего периода почти не изменяется (в отличие от летнего периода) и составляет 8-9⁰С, что на 2-3⁰ выше проектной. Подогретая вода охлаждается до температуры наибольшей плотности и под влиянием проточного течения распространяется вниз к плотине. В распределении температуры по глубине наблюдается обратная стратификация. В марте отмечается воздействие теплых вод на ледовый покров снизу. За месяц толщина льда изменилась на 8 см, причем толщина снежного льда увеличилась на 1 см, а толщина кристаллического льда уменьшилась на 9 см. Наблюдения показывают, что изменения в ледово-термическом режиме вследствие значительного по сравнению с летом проточного течения прослеживаются до плотины.

Результаты наблюдений за температурой воды на вертикали в 50 км ниже водовыпуска ГРЭС показывают, что при бесперебойной работе ГРЭС при двух и трех работающих блоках температура воды у дна достигает 0,8-1,4⁰С, а до ввода в эксплуатацию ГРЭС температура воды у дна в среднем составляла 0,5-0,6⁰С. Это приводит к увеличению температуры сбрасываемой воды через турбины Камской ГЭС и увеличению длины полыньи в нижнем бьефе.

Изменяется и структура и толщина ледового покрова: толщина кристаллического льда уменьшается при стаивании снизу до нуля, но это компенсируется за счет нарастания снежного льда сверху.

В районе сброса подогретых вод образуется полынья форма и размеры, которой зависят от таких факторов, как температура воздуха, режим уровня и морфометрия участка. Повышенная проточность водохранилища в период зимней сработки так же влияет на форму полыньи - в марте-апреле она ориентирована вниз по течению. При одном работающем энергоблоке площадь полыньи составляла 0,28-5,54 км², при двух работающих блоках – 0,82-6,58 км² и при трех – 0,49-8,68 км².

На всем протяжении от ГРЭС до Камской ГЭС в русловой зоне происходит уменьшение толщины льда за счет стаивания с нижней поверхности и изменение структуры с преобладанием снежного льда, что уменьшает прочность льда и создает опасность переходов в районе Добрянки, Лябово, Полазны, Шемети, Заозерья.

Таким образом, режим участка Камского водохранилища от Пермской ГРЭС до плотины Камской ГЭС со времени пуска первых блоков к настоящему времени стабилизировался. Влияние, которое оказывает тепловой сброс с ГРЭС, в разные сезоны года проявляется по-разному. В безледоставный период, когда проточность невелика, тепловое влияние распространяется на расстояние до 14 км ниже ГРЭС. В ледоставный период, когда проточность значительна, тепловое влияние распространяется до плотины Камской ГЭС и прослеживается в нижнем бьефе.

Результаты полевых гидрометеорологических наблюдений в зоне Пермской ГРЭС (2007 г.)

Для наблюдений был выбран период с максимальными температурами поверхности воды – 9 июля и период с температурами, близкими к минимальным в безледоставный период – 25 октября. В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- 1) Измерение температуры воды в поверхностном слое по намеченным створам в пределах участка акватории близ г. Добрянки (от устья р.Кважовки до устья р. Ломаватовки);
- 2) Измерение температуры воды на разных горизонтах для определения ее распределения по глубине;
- 3) Картирование результатов полевых измерений.

Для определения температуры воды в поверхностном слое использовались пять верных створов: 1-й – устье р.Кважовки – отводящий канал, 2-й – отводящий канал – д. Лябово; 3-й – д.Бутыры – отводящий канал; 4-й – отводящий канал – устье р. Большой Туй; 5-й – мыс, разделяющий устья рек Малый Туй и Большой Туй – отводящий канал.

Анализ наблюдений, проведенных 9 июля показал, что вследствие высоких температур воздуха ($+26,0^{\circ}$), державшихся в течение нескольких дней, а также благодаря слабым ветрам фоновая температура поверхности воды поднялась до $23,0-25,0^{\circ}\text{C}$, что на $3,0-4,0^{\circ}\text{C}$ выше, чем в соответствующие периоды наблюдений прошлых лет. Поэтому и площади теплового загрязнения и влияния, несмотря на то, что количество работающих блоков ГРЭС оставалось прежним, оказались наибольшими. Данный факт объясняется исключительно метеорологическими условиями, которые в таком сочетании – длительные высокие температуры и слабый ветер – наблюдаются довольно редко (табл. 5).

Измерение температуры воды до глубины 10 м осуществлялось через каждые 2 м, а при большей глубине – через 5 м. Материалы наблюдений за температурой воды на различных горизонтах представлены в табл. 6. Ее анализ

свидетельствует, что на всех исследуемых вертикалях четко выражена прямая температурная стратификация, характерная для водоемов в летний период года. Отчетливо выделяется слой температурного скачка, имеющий мощность около 5 м. Начиная с глубины 10 м и более температура воды практически не менялась. Исключением явилась вертикаль, расположенная в русловой части.

Таблица 5

Характеристика метеоусловий

№ створа	Название створа	Температура воздуха, °С	Направление и сила ветра	Волнение, баллы	Облачность, баллы	Атм. явления
1	Устье р. Кважевки – отводящий канал	25,5	Слабый, ЮВ	I	III	-
2	Отводящий канал – д. Лябово	25,5	Умеренный, ЮЮВ	II	VI	-
3	д. Бутыры – отводящий канал	26,0	Умеренный, ЮЮВ	II	VIII	-
4	Отводящий канал – устье р. Большой Туй	26,0	Умеренный, ЮЮВ	II	VII	-
5	Мыс, разделяющий устья рек Малый Туй и Большой Туй, - отводящий канал	26,0	Умеренный, В	II	VII	-

Таблица 6

Температура воды на различных горизонтах в районе Добрянской ГРЭС на Камском водохранилище

№ п/п	Вертикаль 1		Вертикаль 2		Вертикаль 3		Вертикаль 4	
	Глубина, м	Температура, °С	Глубина, м	Температура, °С	Глубина, м	Температура, °С	Глубина, м	Температура, °С
1	0,5	26,2	0,5	22,6	0,5	25,0	0,5	26,0
2	2,0	25,2	2,0	22,9	2,0	25,0	2,0	25,2
3	4,0	21,8	5,0	19,7	4,0	23,0	4,0	23,6
4	6,0	16,8	10,0	16,2	6,0	19,0	6,0	20,2
5	8,0	14,9	15,0	15,0	8,0	17,4	8,0	17,4

6	10,0	14,5	17,0	14,5	10,0	14,5	10,0	15,2
7	12,0	14,0	19,5	14,5	15,0	14,2	15,0	15,0
8					17,5	14,2	17,5	14,6

Для нее характерно более плавное понижение температуры с глубиной вследствие перемешивания водной массы под воздействием стокового течения, проходящего по старому руслу р. Камы. Слой температурного скачка на этой эпоре отсутствует. Глубина, начиная с которой температура перестала изменяться, для этой вертикали равна 17 м. Это объясняется более интенсивным перемешиванием водных масс в этой части акватории.

В период наблюдений 25 октября температура воздуха составляла 3 °С. Благодаря большой теплоаккумулирующей способности воды ее температура была более чем в два раза выше температуры воздуха и ее значения изменялись от 6,0 до 7,0 °С (табл.7).

Таблица 7

Результаты наблюдений в зоне влияния Пермской ГРЭС

Дата	Кол-во работающих блоков	Расход теплых вод, м ³ /с	Направление ветра	Скорость ветра, м/с	Температура забираемой воды, °С	Температура сбрасываемой воды, °С	Разница температур, °С	Площадь теплового загрязнения, км ²	Площадь теплового влияния, км ²
09.07.2007	3	28,3	ЮВ	3	25,0	29,2	4,2	7,0	19,0
25.10.2007	3	28,3	СЗ	5	6,2	17,0	10,8	1,5	15,0

Как и в наблюдениях прежних лет, проводимых в октябре, разница температур забираемой и сбрасываемой воды была значительна и составила 10,8 °С. Площадь теплового загрязнения под влиянием северо-западного ветра ориентирована на юго-восток и составила 1,5 км². Зона теплового влияния распространилась вниз до траверза устья р. Кважвы, что по площади составило примерно 15 км². Следовательно, наблюдения 2007 г. подтверждают выводы прежних лет: площади зон теплового загрязнения и влияния определяются количеством сбрасываемых теплых вод. Площадь и распространение указанных зон зависят также от метеорологического фактора – скорости, направления и продолжительности действия ветра, который определяет на этом участке основной вид течения – ветровой. Это подтверждается сравнением данных наблюдений, полученных 9 июля и 25 октября 2007 г. Их анализ показал, что при одинаковом количестве работающих энергоблоков, расходах теплых вод, но разных направлениях и скоростях ветра, температурах забираемой и сбрасываемой воды площади теплового загрязнения и теплового влияния различны и в более теплый период составляют соответственно 7 и 19 км², а в

более холодный – 1,5 и 15 км². Можно предположить, что наибольшее влияние на распространения теплового загрязнения оказывают температуры забираемой и сбрасываемой Пермской ГРЭС воды (рис. 5,6).

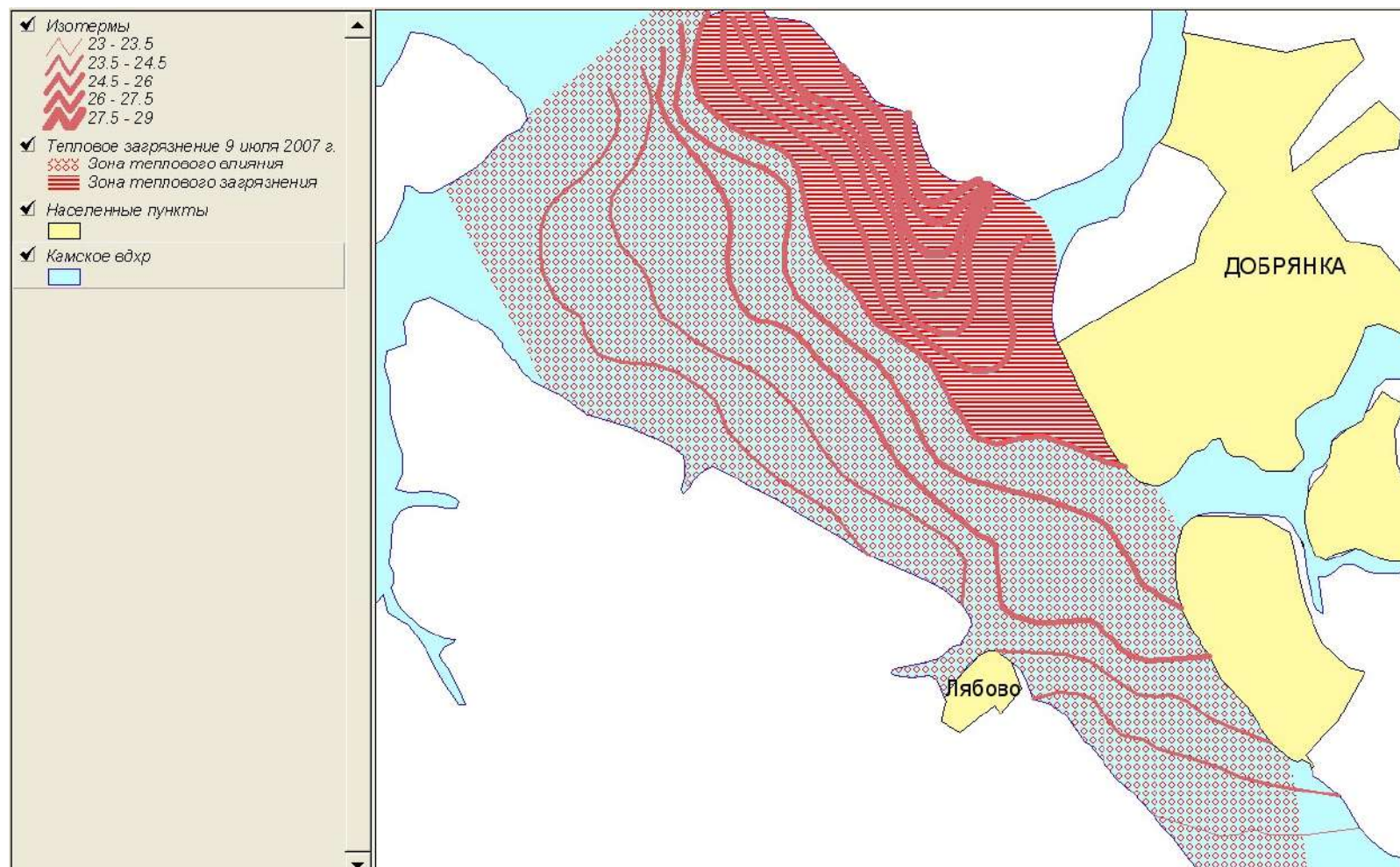


Рис.5. Поле поверхностных температур воды в зоне Пермской ГРЭС (9 июля 2007 г.)

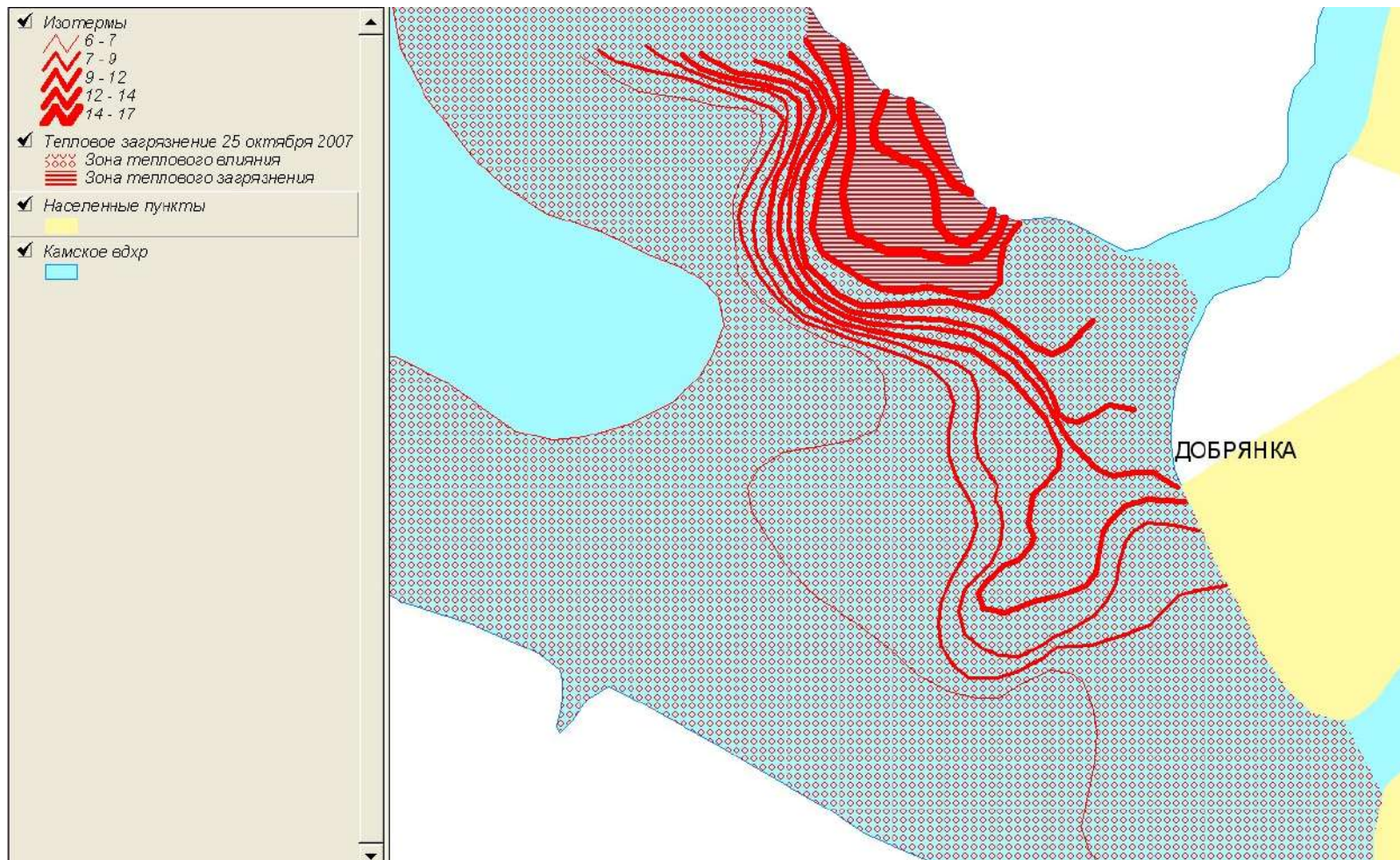


Рис.6. Поле поверхностных температур воды в зоне Пермской ГРЭС (25 октября 2007 г.)

Выводы

При введении в строй новых предприятий предполагается увеличение сброса сточных вод через городской коллектор с температурой, которая изменяется в очень больших пределах – от 6 до 40⁰С. Исходя из полученных нами результатов, можно предположить, что при сбросе воды с температурой, превышающей 20⁰С, зона теплового влияния может увеличиться. Для определения точной площади теплового загрязнения и влияния необходимо проведение специальных исследований с использованием метода моделирования.