

К ВОПРОСУ О НОРМИРОВАНИИ ПРИВНОСА ТЕПЛА В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

© 2017 г. А.М. Горчаков, В.М. Милаев

ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Дальневосточный филиал, г. Владивосток, Россия

Ключевые слова: нормирование, допустимое воздействие, водный объект, привнос тепла, сточные воды, водная экосистема.



А.М. Горчаков



В.М. Милаев

Рассмотрены вопросы нормирования допустимого воздействия на водные объекты от привноса тепла сточными водами предприятий. Проанализированы существующие методики и подходы к разработке проектов нормирования допустимого воздействия для основных рек Российской Федерации. Представлены критические замечания по различным методикам нормирования привноса тепла в водные источники.

Предложен новый подход к решению поставленной задачи, учитывающий многообразие термических режимов рек любого региона, объем и температуру сбрасываемых сточных вод. Результатом работы является таблица допустимых температур сточных вод по отношению к температуре воды реки-приемника или удельного привноса тепла сточными водами, позволяющая оценить объем сточных вод с определенной температурой без ущерба для экосистемы водного объекта.

Рассматриваемая тема возникла в ходе разработки в ДальНИИВХ проектов нормативов допустимого воздействия (НДВ) на водные объекты для бассейнов основных рек Российской Федерации, в т. ч. для р. Амур, рек бассейна Японского моря и рек Камчатского края. При анализе замечаний и предложений по результатам апробации в территориальных органах Росводресурсов методических документов, обеспечивающих разработку схем комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) и НДВ, было отмечено, что разработчики проектов СКИОВО испытывают недостаток методического обеспечения. К тому же, ряд утвержденных и прошедших апробацию методик нуждаются в доработке. Это относится и к оценке

воздействия на водные объекты привноса тепла, для которого, согласно п. 8 «Методических указаний...» [1], должен быть разработан норматив.

В процессе разработки и использования НДВ выявились такие проблемы, как учет региональных особенностей, отсутствие необходимых исходных данных и ряда принципиальных методик (региональный фон, нормирование тепла и т. д.), сложности практического применения НДВ. Кроме того, установление нормативов совокупного допустимого воздействия на водный объект предполагает его контроль, а проконтролировать совокупное влияние источников воздействия в принципе невозможно [2].

Относительно нормирования теплового загрязнения водных объектов следует отметить, что разработчики НДВ по-разному оценивают этот вид воздействия. Например, в проекте НДВ р. Дон [3] отмечается, что в качестве нормы воздействия привноса тепла принимается показатель отсутствия случаев нарушения нормативных условий (определяемых Правилами [4]), связанных с режимом сброса нагретых сточных вод отдельных действующих предприятий. Такой показатель имеет практический смысл, а его реальное соблюдение может устанавливаться (подтверждаться или нет) по результатам контроля. При этом, согласно п. 15 Методических указаний [1], основным нормативом привноса тепла для водохозяйственного участка (ВХУ) является показатель, характеризующий объем и температуру подогретой воды, поступающей от антропогенных источников и вызывающей допустимое повышение температуры воды в водном объекте относительно естественного температурного режима (градус \cdot м³). Для ВХУ (если данный ВХУ не представлен частью одной реки, а включает ряд обособленных водных объектов) этот показатель не имеет смысла и непонятно, как им пользоваться в дальнейшем.

Указанный вид воздействия касается преимущественно качественного состояния воды водных объектов и состояния их экологических систем и никак не влияет на изменение водного режима рек.

Согласно п. 23 [1], норматив допустимого воздействия по привносу тепла определяется на основании теплового баланса водного объекта или его участка после установления критических температур воды, нарушающих экологическое благополучие водного объекта или его части и ухудшающих условия его использования. При расчете теплового баланса учитываются морфометрические и гидравлические особенности водного объекта, а также его эвтрофикация под влиянием привноса тепла.

Понятие «тепловое загрязнение» включает в себя совокупность гидрохимических и гидробиологических процессов, происходящих в водной среде под действием тепла, поступающего с избыточно теплыми сточными водами различного происхождения (преимущественно от объектов тепло-

энергетики). Необходимость нормирования привноса тепла в водные объекты обусловлена тем, что температура является одним из определяющих факторов жизнедеятельности для биологической составляющей водных экосистем. Воздействие привноса тепла может иметь положительные и отрицательные последствия для водных экосистем и условий водопользования в зависимости от величины дополнительного перегрева относительно естественных температур воды. Вследствие повышения температуры воды в водоеме или водотоке изменяется видовой состав флоры и фауны, увеличивается количество биомассы, разлагаются растительные остатки, уменьшается содержание в воде кислорода, ухудшается ее качество и деградирует экосистема [5].

Природоохранные и санитарные органы Российской Федерации нормируют перегрев при выпуске возвратных (сточных) вод, дифференцируя его применительно к водоемам и водотокам по категориям водопользования: хозяйственно-питьевое, коммунально-бытовое и рыбохозяйственное. Основными документами регулирования являются СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод» [6] и Водный кодекс [7]. СанПиН распространяется только на водные объекты, используемые для рекреации и хозяйственно-питьевого водоснабжения. В утративших силу «Правилах охраны поверхностных вод» [4] предлагался более дифференцированный подход к нормированию привноса тепла.

По степени воздействия тепла на экосистемы водоемов и водотоков выделяются следующие градации [8]:

– слабый перегрев (менее 3 °С), при котором влияние температуры на биологический режим слабое и прослеживается лишь в местах выпуска циркуляционной воды и в примыкающих зонах;

– умеренный перегрев (от 4 до 6 °С), когда под влиянием температур экосистема и химический режим водного объекта изменяются: в летнее время увеличивается количество органических и биогенных веществ, повышается их концентрация, возрастает численность микробов, угнетается донная фауна, сокращается видовой состав гидробионтов, снижается количество кислорода;

– сильный перегрев (более 6 °С) – нарушаются гидрохимический и биологический режимы, происходит распад экосистемы, ухудшается санитарное состояние водоема.

Данная градация в принципе соответствует принятой в мировой практике значимой величине перегрева 3–5 °С над естественной температурой воды [5].

Упомянутые выше документы в той или иной мере позволяют нормировать предельно допустимую температуру, допустимый перегрев и поло-

жение пункта контроля относительно места выпуска воды (табл. 1). Однако допустимый перегрев никак не обоснован (ни с точки зрения экологической безопасности, ни санитарно-гигиеническими требованиями). Достаточно отметить, что значения температур воды в самые жаркие месяцы для разных рек могут отличаться на 10 и более градусов.

Необходимо также подчеркнуть, что предусмотренные ограничения по тепловому загрязнению в России занимают среднее положение среди аналогичных ограничений, применяемых в других странах. Например, максимальная температура подогрева водоема за счет сброса теплых сточных вод в Англии, Франции и Германии составляет 30 °С, Голландии – 32 °С; Польше – 26 °С. Таким образом, мировая практика нормирования теплового загрязнения учитывает особенности климата и типа водного объекта. Формально учитывает тип водного объекта и существующая российская система, но преимущественно через установление контрольного створа наблюдений за температурным режимом.

Анализ табл. 1 показывает, что нормирование теплового загрязнения по указанным принципам не учитывает специфику производства и региональные особенности. Как и федеральные ПДК, предельно допустимая температура ограничивается по всей территории Российской Федерации одним порядком величин: 20 °С для мест обитания хладолюбивых рыб и 28 °С – для остальных. Кроме того, представляется, что использование в качестве критерия естественной среднесезонной температуры самого жаркого месяца года за последние 10 лет фактически означает почти ежегодную корректировку нормы, обусловленную естественной изменчивостью метеорологических характеристик. Проще использовать для установления предельно допустимой температуры среднесезонные значения температуры самого жаркого месяца с учетом допустимого перегрева. Предельно допустимая температура должна нормироваться в зависимости от широты места и региона, а также с учетом гидробиологического звена, для которого она является лимитирующей.

Диапазон зависимости жизнедеятельности рыб от температуры воды для видов промысловых рыб приведен в табл. 2. Анализ табл. 2 показывает, что температура 20 °С лимитирует условия жизнедеятельности только одного вида промысловых рыб – налима. Для остальных рыб температура воды 20 °С и выше является приемлемой по условиям питания, а для некоторых (сом, красноперка, линь, карп, сазан) и оптимальной для нереста.

Таким образом, необходимость соблюдения и не превышения именно 20 °С, как залога экологического благополучия водных объектов, выглядит, как минимум, малообоснованно. Соблюдение температуры 20 °С в летний период мало приемлемо с практической точки зрения и по причине невозможности управлять естественным температурным режимом водных объектов.

Таблица 1. Действующие нормативы допустимого теплового воздействия на поверхностные водные объекты

Категория водопользования водоема или водотока	Место контрольного пункта относительно места выпуска	Перегрев над естественной температурой, °С	Предельно допустимая температура
СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод»			
Водоемы хозяйственно-питьевого назначения: непроточные	1 км в обе стороны от места водозабора потребителя	3	Летняя температура не должна превышать более чем на 3 °С среднемесячную температуру самого жаркого месяца за последние 10 лет.
Проточные	1 км выше по течению от места водозабора потребителя	3	
Правила охраны поверхностных вод (1991)			
Хозяйственно-питьевые и коммунально-бытовые	Водотоки: 1 км выше ближайшего пункта водопользования. Водоемы: в радиусе 1 км	3	Летняя температура не должна превышать более чем на 3 °С среднемесячную температуру самого жаркого месяца за последние 10 лет.
Рыбохозяйственные	Не далее 500 м от места выпуска	5	В местах обитания хладобивых рыб: летом –20 °С, зимой 5 °С. В местах нерестилищ налима зимой не более 2 °С. В остальных водоемах: летом 28 °С, зимой 8 °С.

В табл. 3 для примера приведены сведения о среднемесячных температурах воды двух рек в бассейне Амура, осредненных за многолетний период по данным [9, 10]. Анализ таблицы показывает, что, например, для р. Арсеньевки в естественных условиях без какого-либо теплового загрязнения происходит прогрев в июне–августе до температур, превышающих 20 °С. Обеспеченность превышения данной лимитирующей температуры составляет около 50 %, т. е. повторяемость один раз в два года.

Максимальные месячные величины еще больше демонстрируют невозможность соблюдения данного ограничительного условия даже при полном отсутствии теплового воздействия. Соответственно, автоматически использовать в качестве лимитирующей температуры для летнего периода 20 °С некорректно.

Таблица 2. Температурные диапазоны нормальной жизнедеятельности рыб [5].

Виды рыб	Температура воды, °С			Виды рыб	Температура воды, благоприятная для нереста, °С
	Приводит рыбу в оцепенение	Питание рыб	Благоприятная для нереста		
Налим	12–15	1–12	2–4	Сом	> 20
Щука	2	4–23	4–9	Белоглазка	11–16
Окунь	2	4–21	6–8	Синец	8–17
Лещ	2	5–23	10–18	Густера	16–17
Плотва	3	4–25	8–15	Красноперка	18–21
Елец	3	7–22	10–12	Уклея	16–20
Карп, сазан	6	8–30	15–23	Чехонь	12–16
Линь	6	10–30	17–23	Голавль	10–18
Жерех	–	–	4–12	Карась	16–20
Язь	–	–	5–9	Ерш	4–18
Судак	–	–	10–16		

Таблица 3. Среднемноголетние месячные значения температуры воды рек в разных регионах РФ

Температура воды, °С	Месяц								
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
р. Арсеньевка – с. Яковлевка									
Средняя	–	3,96	11,8	18,3	23,0	22,7	16,4	8,2	0,93
Максимальная	0,2	9,7	17,6	21,5	26,2	26,4	18,5	10,2	5,8
р. Ингода – с. Атамановка									
Средняя	–	–	6,9	16,2	18,2	17	9,8	2,1	–
Максимальная	–	–	8,6	17,2	19,5	19,1	11,5	3,3	–

Проведенный анализ показал невозможность не критического использования существующих ограничительных температур при нормировании теплового загрязнения. Не имея достаточной статистической информации по температурному режиму водотоков (в т. ч. «подогретых») и гидробиологических данных по ним, выбрать адаптированный диапазон допустимых температур не представляется возможным.

На основании вышеприведенных замечаний, при нормировании привноса тепла необходимо ориентироваться на не превышение температур летом до 28 °С, зимой до 8 °С. Данные температуры должны соблюдаться в контрольном створе, т. е. на расстоянии не более 500 м ниже по течению от выпуска сточных вод с высокими температурами.

Практически во всех проектах НДВ использовались нормативы Сан-Пин, поэтому вся процедура расчета сводилась к записи произведения объема сброса на нормированное превышение над естественной температурой водного объекта в теплый и холодный периоды года (табл. 4)

Таблица 4. Нормативы допустимого приноса тепла для некоторых рек в бассейне р. Амур

Река – пункт	Значение в год, °С · м ³ · 10 ⁶	
	апрель–октябрь	ноябрь–март
р. Арсеньевка – с. Яковлевка	3 °С · 5,481 м ³	5 °С · 3,915 м ³
р. Ингода – с. Атамановка	3 °С · 19,551 м ³	5 °С · 13,965 м ³

Контролировать привнос тепла по такой форме записи не представляется возможным, поскольку в большинстве случаев нет данных по исходной температуре воды в водном объекте и расходу воды в реке. Само же произведение не отражает привнос тепла, а представляет некую непонятную добавку, равную произведению приращения температуры на фактический объем сброса подогретых сточных вод.

Предлагаемая методика расчета норматива допустимого воздействия по привносу тепла для рек бассейна р. Амур в отсутствие в [1] утвержденной методики по нормированию тепла в водном объекте сводится к следующему. В качестве методической основы использованы РД 153-34.2-21.144-2003 «Методические указания по технологическим расчетам водоемов-охладителей» [11], а в качестве критериев (нормативов) – нормативы из [1].

Поскольку забор и сброс воды осуществляется в тот же водный объект, но ниже по течению, и если предположить, что между заборным и сбросным устройствами отсутствует поступление воды, то расчет допустимой температуры сбросных вод имеет вид [12]:

$$t_c = t_e + \frac{Q}{q} \Delta T_H, \quad (1)$$

где t_c – допустимая температура сточных вод, °С;

t_e – естественная температура воды в водотоке, °С;

ΔT_H – допустимый прирост температуры при поступлении подогретой воды в водный объект (°С), равный разности критических значений

температур воды (28 °С летом и 8 °С зимой) и фактических максимальных температур воды в реке;

Q – расход воды в водотоке, м³/с;

q – расход сбросных вод, м³/с.

Расчет по формуле (1) предполагает, что в разбавлении сточных вод участвует вся вода водотока/водохранилища. Из структуры формулы (1) следует, что при больших соотношениях расходов воды в реке и расходов сбрасываемых вод расчетное приращение температуры сточных вод становится довольно высоким (до 100 °С и выше), чего в принципе не может быть. Анализ результатов пробных расчетов допустимых приращений температуры сточных вод для небольших водных объектов в бассейне р. Амур (реки Арсеньевка и Ингода) для года 95 % обеспеченности по водности, исходя из предположения, что весь объем сточных вод в данных ВХУ является сбросом гипотетической ГРЭС непосредственно в реку, показал, что существует некий предел соотношения стока реки и сброса сточных вод, при котором расчеты приводят к абсурду. Тем не менее, для определенного диапазона соотношений с учетом принятых критериев, можно для общего случая с гипотетическим водопользователем предложить следующую типовую матрицу расчета допустимых приращений температуры речных вод в зависимости от величины соотношения расходов воды и разности критических и естественных температур речной воды. При этом необходимо несколько подправить формулу (1) и записать ее в тех же обозначениях в виде:

$$t_c = t_e + \left(1 + \frac{Q}{q}\right) \Delta T_H, \quad (2)$$

Расчетная матрица представлена в табл. 5.

В итоговые таблицы НДВ для каждого ВХУ должны вноситься суммарные величины привноса тепла за теплый и холодный периоды, которые определены как произведение допустимой температуры воды (снятой с матрицы) на отводимый за период объем охлаждаемой воды (табл. 6). В контрольном створе при этом исключается превышение нормативов температуры (8 °С зимой и 28 °С в теплый период). В принципе можно ограничиться и матрицей расчетной допустимой температуры сточных вод с учетом температуры воды в реке, расхода воды и принятых критериев, поскольку приведенные в матрице значения это не только допустимая (возможная) температура сточных вод, но и удельная характеристика привноса тепла на 1 м³ этих вод.

В подтверждение неопределенности принятой в [1] записи значения допустимого привноса тепла приведем сравнение полученных результатов: так, для р. Арсеньевки за период с апреля по октябрь допустимый привнос тепла по предлагаемой методике составил 2737,7 млн град.·м³, про-

Таблица 5. Допустимые температуры сточных вод (°С) по отношению к температуре воды реки-приемника для гипотетического водопользователя или удельный прирвнос тепла сточными водами (град·м³)

	Соотношение расходов (объемов)																	
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9	10	15	20	30
Разность между критической температурой (28°С летом и 8°С зимой) и максимальной температурой воды в реке	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	16,0	21,0	31,0
2	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0	32,0	42,0	62,0
3	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12,0	13,5	15,0	16,5	18,0	21,0	24,0	27,0	30,0	33,0	48,0	63,0	
4	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0	24,0	28,0	32,0	36,0	40,0	44,0	64,0	84,0	
5	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	80,0		
6	9,0	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0	27,0	30,0	33,0	36,0	42,0	48,0	54,0	60,0	66,0			
7	10,5	14,0	17,5	21,0	24,5	28,0	31,5	35,0	38,5	42,0	49,0	56,0	63,0	70,0	77,0			
8	12,0	16,0	20,0	24,0	28,0	32,0	36,0	40,0	44,0	48,0	56,0	64,0	72,0	80,0				
9	13,5	18,0	22,5	27,0	31,5	36,0	40,5	45,0	49,5	54,0	63,0	72,0	81,0					
10	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	70,0	80,0						
11	16,5	22,0	27,5	33,0	38,5	44,0	49,5	55,0	60,5	66,0	77,0	88,0						
12	18,0	24,0	30,0	36,0	42,0	48,0	54,0	60,0	66,0	72,0	84,0							
13	19,5	26,0	32,5	39,0	45,5	52,0	58,5	65,0	71,5	78,0								
14	21,0	28,0	35,0	42,0	49,0	56,0	63,0	70,0	77,0	84,0								
15	22,5	30,0	37,5	45,0	52,5	60,0	67,5	75,0	82,5									
16	24,0	32,0	40,0	48,0	56,0	64,0	72,0	80,0										
17	25,5	34,0	42,5	51,0	59,5	68,0	76,5	85,0										
18	27,0	36,0	45,0	54,0	63,0	72,0	81,0											

тив 16,443 млн град. · м³ по [1], а для р. Ингода соответственно 3166 против 58,653 млн град. · м³. При расчетах привноса тепла в зимние месяцы следует ориентироваться на исходную температуру воды в реке порядка 0,2 °С.

Анализ водохозяйственной ситуации в пределах бассейна р. Амур показал, что потенциальными источниками теплового загрязнения могут быть объекты теплоэнергетики и ряд крупных промышленных предприятий. Выпуски хозяйственных сточных вод, несмотря на большие объемы, имеют относительно невысокие температуры, что в сочетании с наличием разбавляющего эффекта в водотоках делает их маловероятными источниками привноса тепла.

Таблица 6. Допустимый привнос тепла сточными водами в реки Арсеньевка и Ингода

Характеристика	Месяцы								
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
р. Арсеньевка – с. Яковлевка									
Объем стока реки, млн м ³	4,06	57,42	84,84	28,14	17,13	21,84	19,95	14,88	8,75
Объем сброса, млн м ³	0,783	0,783	0,783	0,783	0,783	0,783	0,783	0,783	0,783
Соотношение объемов	5,2	73,3	108,3	35,9	21,9	27,9	25,5	19,0	11,2
Возможная температура сточных вод, град	41	100	100	100	66	71	100	100	30
Привнос тепла, 10 ⁶ град · м ³	31,8	1058	896	199,8	51,4	55,6	204	272,9	23,8
р. Ингода – с. Атамановка									
Объем стока реки, млн м ³	0,14	14,71	57,75	37,24	46,00	35,93	35,18	28,12	6,52
Объем сброса, млн м ³	2,793	2,793	2,793	2,793	2,793	2,793	2,793	2,793	2,793
Соотношение объемов	0,049	5,3	20,7	13,3	16,5	12,9	12,6	10,1	2,3
Возможная температура сточных вод, град	–	–	100	100	100	100	100	51	–
Привнос тепла, 10 ⁶ град · м ³	–	–	1144	450	445	373	612,6	141,4	–

ВЫВОДЫ

Привнос тепла в реки связан исключительно с водоотведением стоков теплоэлектростанций, расположенных в крупных населенных пунктах, т. е. имеет локальное распространение. При этом отведение подогретых сточных вод после охлаждения агрегатов теплоэлектростанций осуществляется в пруды-охладители, вследствие чего тепловое воздействие на водные объекты либо отсутствует, либо оказывается незначительным. Для этих предприятий рассчитывать НДС по привносу тепла в водные объекты нет необходимости. Кроме того, расчет НДС по привносу тепла для водохозяй-

ственного участка, территория которого включает ряд изолированных друг от друга речных систем, нецелесообразен исключительно из-за неопределенности результата осреднения исходных характеристик и неконтролируемости самого воздействия привноса тепла.

При разработке НДВ по привносу тепла в водные объекты вся процедура расчета сводилась к записи произведения объема сброса на нормированное превышение над естественной температурой водного объекта в теплый и холодный периоды года без учета степени нагретости сточных вод и термического режима самого водотока-приемника этих вод. В предлагаемом в данной статье подходе эти обстоятельства учтены, а сам метод может быть рекомендован для практического использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. Утв. приказом МПР России от 12.12.2007 № 328. М.: МПР РФ, 2007. 31 с.
2. Гагарина О.В. Проблемы нормативного обеспечения разработки и установления НДВ на водные объекты // Вестник Удмурского университета. Вып.1. 2010. С. 20–26.
3. Проект нормативов допустимого воздействия на водные объекты в бассейне реки Дон (Российская часть). Оценка воздействия на окружающую среду. Екатеринбург, 2011. Режим доступа: www.donbv.ru/pictures/ne_4847728/ovos_ndv.pdf.
4. Правила охраны поверхностных вод (типовые положения). М., 1991. 31 с.
5. Голованов В.К. Температурные критерии жизнедеятельности пресноводных рыб. М.: Полиграф-Плюс. 2013. 300 с.
6. СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод». М., 2000.
7. Водный кодекс Российской Федерации. М.: Омега, 2008. 43 с.
8. Марченко А.А. Проблемы разработки СКИОВО и НДВ и некоторые пути их решения. Режим доступа: wgm.ru/files.
9. Основные гидрологические характеристики. Т. 18. Дальний Восток. Вып.1. Верхний и Средний Амур. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 264 с.
10. Основные гидрологические характеристики. Т.18, Дальний Восток. Вып.3. Приморье. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 264 с.
11. РД 153-34.2-21.144-2003 «Методические указания по технологическим расчетам водоемов-охладителей».

Сведения об авторах:

Горчаков Анатолий Михайлович, канд. геогр. наук, заведующий отделом гидрологических исследований и водохозяйственных расчетов, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Дальневосточный филиал (ДальНИИВХ), Россия, 690014 г. Владивосток, а/я 153; e-mail: iwf@vlad.ru

Милаев Валерий Максимович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Дальневосточный филиал (ДальНИИВХ), Россия, 690014, г. Владивосток, а/я 153; e-mail: iwf@vlad.ru