

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Отделение океанологии, физики атмосферы и географии
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ

Российский фонд фундаментальных исследований
Российский национальный комитет Международной ассоциации гидравлических исследований

**ДИНАМИКА И ТЕРМИКА РЕК,
ВОДОХРАНИЛИЩ И ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ
МОРЕЙ**

V КОНФЕРЕНЦИЯ

Труды

Москва, 22-26 ноября 1999 г.

В Сборник включены доклады V Конференции «Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей». Цель конференции – обсуждение наиболее важных результатов исследований в области динамики и термики водных объектов, полученных в последние годы, определение приоритетных направлений исследований и их координация.

Доклады распределены по пяти секциям:

1. Динамика рек и водохранилищ
2. Термика и ледотермика рек и водохранилищ
3. Динамика прибрежной зоны морей
4. Транспорт наносов, русловые и береговые процессы
5. Динамика морских устьев рек.

Доклады отредактированы Оргкомитетом Конференции.

Сборник подготовлен к печати сотрудниками лаборатории динамики русловых потоков и ледотермики Е.Н. Долгополовой, А.В. Котляковым, М.В. Михайловой и издан при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 99-05-74073).

Гречушникова М.Г. Синоптическая изменчивость температуры воды в долинном водохранилище	111
Гречушникова М.Г., Пуклаков В.В. Периодизация термического цикла водоемов	114
Григорьева И.Л. Исследование взаимосвязей температуры воды и температуры воздуха водохранилищ различных типов	116
Дебольская Е.И. Современное состояние исследований динамики подледных потоков	119
Железняков Г.В., Пейч Ю.Л. О движении воды в реках при ледоставе	122
Жиленков В.Н. Об одной возможности повышения качества селективного отбора воды из стратифицированного водоема	123
Зиновьев А.Т. Одномерная модель термического режима Телецкого озера	126
Зуев В.П., Ковалев А.Н. Использование изгибно-гравитационных и гравитационных волн с целью борьбы с ледовыми затруднениями на Акваториях	127
Коваленко В.Э. Термический режим рек Беларуси и его рекуперация	131
Козлов Д.В. Гидроледотермика: системно-методологические основы и проблемы	134
Кякк В.А. Уравнение теплового баланса водоема-охладителя ТЭС с учетом условий ввода и вывода циркуляционного расхода	137
Лупачев Ю.В. Динамика процессов образования заторов льда при вскрытии устьевых участков рек Северной Двины и Печоры	139
Люттов А.В., Турутин Б.Ф. Процессы формирования стока шугольда в паводковый период бассейна р. Енисей	142
Науменко М.А., Каретников С.Г., Гузиватый В.В. Ладожское озеро: современное состояние изученности термического режима	144
Осмонбетова Д.К. Термический режим Токтогульского водохранилища	146
Павлов А.В. Термический режим озер криолитозоны России	147
Пушистов П.Ю., Шлычков В.А., Степанова Н.Д. Концептуальная модель и энергетика термодинамического взаимодействия процессов в водоеме и атмосфере с прямым описанием когерентных структур	149
Салдатова И.И. Оценка изменения ледового режима рек в 90-е годы по сравнению с периодом 1961-1990 гг.	151
Тимченко В.М., Петренко Л.В., Тимченко О.В. Регулирование длины припотинной полыньи попусками Киевской ГЭС на Днепре	152
Турутин Б.Ф., Матюшенко А.И. Характер ледотермических процессов бассейна р. Енисей	155
Шлычков В.А., Иевлев К.В., Овчинникова Т.Э., Пушистов П.Ю. Выхреразрешающая модель и энергетика когерентных кластеров при подледной проникающей конвекции в водоеме	157

Секция «Динамика прибрежной зоны морей»

Ахмедова Г.А., Косарев А.Н., Кураев А.В. Влияние Волжского стока на гидрологические условия западного шельфа среднего Каспия	161
Богородский П.В. Особенности таяния припайных льдов арктического побережья	162
Бондаренко А.Л., Филиппов Ю.Г. Природа квазипостоянных течений в Каспийском море	165
Гагошидзе Ш.Н. О влиянии угла наклона берегового склона на	

нагревания (2). Для этой фазы характерно нарушение плотностной устойчивости верхних слоев воды в результате подледного прогрева и их свободноконвективное перемешивание. После схода льда в структуре теплового баланса появляются новые компоненты: турбулентный теплообмен с атмосферой и испарение воды. Начинается фаза весеннего нагревания (3), в ходе которой происходит полное разрушение зимней стратификации вод в результате свободной конвекции и ветрового перемешивания. Прогрев воды до температуры максимальной плотности приводит к прекращению свободной конвекции. Начинается фаза раннелетнего нагревания (4), характеризующаяся интенсивным накоплением тепла в водоеме. После повышения температуры воды до значений среднесуточной температуры воздуха турбулентный теплообмен становится отрицательным компонентом теплового баланса и начинается фаза летнего нагревания (5). Для нее характерно резкое замедление интенсивности нагревания, появление упорядоченной конвекции в виде циркуляций Ленгмюра и формирование слоя температурного скачка. Период охлаждения начинается с фазы позднелетнего охлаждения (6), характеризующейся разрушением летней стратификации, заглублением слоя температурного скачка, интенсивным развитием свободной и упорядоченной конвекции. После полного разрушения летней стратификации теплообмен с грунтами дна становится положительным компонентом теплового баланса, начинается фаза осеннего охлаждения (7), в ходе которой происходит уменьшение теплозапаса всей водной массы в условиях, близких к гомотермии. Охлаждение воды до температуры максимальной плотности приводит к прекращению свободной конвекции и формированию обратной температурной стратификации. Начинается фаза предзимнего охлаждения (8). Установление ледостава исключает из структуры теплового баланса затраты тепла на испарение воды и турбулентный теплообмен, потери тепла резко замедляются, начинается последняя фаза цикла - фаза зимнего охлаждения (9).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 99-05-64555).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пуклаков В.В. Математическая модель процессов тепло- и массообмена в стратифицированном водохранилище // Вестник Моск. ун-та, сер.5. География, 1995. №1. С.22-29.
2. Пуклаков В.В. Объективный критерий выделения временных границ периодов и фаз термического цикла озер и водохранилищ // Динамика и термика рек, водохранилищ и окраинных морей: Тез. докл. III Всесоюз. конф. т.2. М., 1989. С.193-194.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ВОДОХРАНИЛИЩ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

И.Л. Григорьева

Институт водных проблем РАН, 117735, Москва, ул. Губкина, д.3

Термический режим водохранилищ определяется прежде всего климатическими особенностями региона, в котором оно располагается. Распределение тепла в водной массе и ее температура зависят от морфометрических особенностей водоема, прежде всего от его размеров и глубины. Параметризация значений температуры воды

значениями температуры воздуха позволяет определять их при отсутствии данных натурных наблюдений. При этом параметры водоема могут существенно влиять на характер взаимосвязей.

Целью нашей работы было исследование взаимосвязей среднемесячной температуры воды в поверхностном слое у берега замыкающего или центрального створа водохранилища со среднемесячной температурой воздуха, измеренной на береговой метеостанции, репрезентативной для данного водоема.

В качестве объектов исследований были выбраны восемь водохранилищ различных морфологических типов, расположенных в разных природных и климатических зонах и отличающихся друг от друга своими параметрами: озерно-котловинное Выгозерско-Ондское, сложные котловинно-долинные Нарвское и Ивановское, сложное пойменно-долинное Братское, простые котловинно-долинные Сионское и Кайраккумское и депрессионные Самгорское и Каттакурганское (табл. 1). Периоды наблюдений за температурой воды и температурой воздуха для каждого из водоемов составили не менее пяти лет.

Таблица 1. Основные морфометрические характеристики исследуемых водохранилищ при НПУ

Водохранилище	Полный объем, км ³	Площадь водного зеркала, км ²	Средняя глубина, м	Максимальная глубина, м	Длина, км	Средняя ширина, км
Выгозерско-Ондское	7.1	1250	5.7	18.0	87	14
Нарвское	0.365	200	1.8	15.0	52	1
Ивановское	1.12	327	3.4	19.0	120	2.8
Братское	169.7	5467	31.0	150.0	1020	5.9
Самгорское	0.308	11.8	26.2	45.0	9.8	1.2
Сионское	0.325	10.4	31.4	67.0	11.5	0.9
Кайраккумское	3.414	544	6.3	23.0	60	9.1
Каттакурганское	0.84	90	10.6	25.0	15	5.3

Анализ взаимосвязей проводился сезонно: весна (период прогрева), лето (период максимальных температур воды), осень (период охлаждения). Каждый из периодов для всех водохранилищ выделялся следующим образом. Среднемесячные значения температуры воды у берега и температуры воздуха за рассматриваемый ряд лет осреднялись помесячно. Затем из максимальных значений температуры воды и температуры воздуха отнимались значения за остальные месяцы. Месяцы, в которые полученная разность не превышала 2-2,6°С, считались летними, предшествующие им со среднемесячными положительными температурами - весенними, а последующие - осенними. Таким образом, добивались сравнимости результатов, т.к. из-за того, что водоемы расположены в разных климатических зонах, весенний, летний и осенний периоды для каждого из них имеют различную продолжительность. Так период прогрева для Выгозерско-Ондского и Братского водохранилищ длится с апреля по июнь, для Нарвского - с марта по июнь, Ивановского - с марта по май, Самгорского и Сионского с января по май, для Кайраккумского и Каттакурганского - с января по апрель. Период высоких температур для Выгозерско-Ондского и Нарвского водохранилищ включает июль-август; для Братского только август; Ивановского, Сионского и Самгорского -

июнь, июль, август, Кайракумского и Каттакурганского - май, июнь, июль, август, сентябрь. Период охлаждения для Выгозерско-Ондского, Братского, Нарвского и Ивановского водохранилищ длится с сентября по ноябрь, для Сионского и Самгорского - с сентября по декабрь, для Кайракумского и Каттакурганского - с октября по декабрь.

Анализ зависимостей температуры воды от температуры воздуха показал, что наиболее сложный вид связи наблюдается в период прогрева (весна). Весной для Ивановского, Кайракумского и Выгозерско-Ондского водохранилищ взаимосвязи температуры воды и температуры воздуха могут быть описаны степенным законом.

Уравнение регрессии имеет следующий вид (T_w - температура воды, T - температура воздуха, η - корреляционное отношение):

$$\begin{aligned} \text{для Выгозерско-Ондского водохранилища } T_w &= 0.083 T^{1.8918} \quad (\eta = 0.99), \\ \text{для Ивановского } T_w &= 0.49 T^{1.286} \quad (\eta = 0.94); \\ \text{для Кайракумского } T_w &= 0.844 T^{0.963} \quad (\eta = 0.93). \end{aligned}$$

Для сильно проточного Нарвского и депрессионного Каттакурганского водохранилищ эта связь может быть аппроксимирована линейным законом:

$$\begin{aligned} \text{для Нарвского } T_w &= 0.895 T + 3.97 \quad (\eta = 0.97), \\ \text{для Каттакурганского } T_w &= 0.842 T + 0.9 \quad (\eta = 0.92). \end{aligned}$$

Для Братского, Сионского и Самгорского водохранилищ в весенний период полученные взаимосвязи могут быть описаны показательным законом:

$$\begin{aligned} \text{для Братского } T_w &= 0.214 * 1.285^T \quad (\eta = 0.96), \\ \text{для Сионского } T_w &= 3.268 * 1.118^T \quad (\eta = 0.81), \\ \text{для Самгорского } T_w &= 2.6178 * 1.113^T \quad (\eta = 0.83). \end{aligned}$$

Летом и осенью зависимость температуры воды от температуры воздуха для всех водохранилищ хорошо аппроксимируется уравнением вида:

$$T_w = aT + b,$$

где T_w - температура воды, T - температура воздуха, a и b - коэффициенты регрессии, значения которых помещены в таблицу 2. Более высокая коррелируемость значений наблюдается в осенний период.

Исследование взаимосвязей температуры воды и температуры воздуха показало, что морфологический тип водоема не оказывает решающего влияния на характер исследуемой связи. Прослеживается нелинейная зависимость типа уравнения, описывающего полученные взаимосвязи, от размера водоема и положения его на местности (равнинное, горное, предгорное). При этом для средних водохранилищ с объемом чаши от 1 до 0.1 км³ (Нарвское, Каттакурганское) взаимосвязи в весенний период могут быть описаны линейным законом, для крупных водоемов с объемом чаши от 10 до 1 км³ (Выгозерско-Ондское, Ивановское, Кайракумское) -

степенным, для крупнейших глубоких и предгорных (Братское, Сионское и Самгорское) - показательным.

Таблица 2. Значения коэффициентов регрессии и корреляционного отношения, полученных взаимосвязей температуры воды и температуры воздуха исследуемых водохранилищ

Водохранилище	Лето			Осень		
	a	B	η	A	B	η
Выгозерско-Ондское	0.67	6.773	0.93	0.847	4.27	0.98
Нарвское	0.754	7.92	0.87	0.938	4.364	0.93
Иваньковское	0.925	4.326	0.87	1.088	2.576	0.97
Братское	1.406	-5.553	0.94	0.62	6.691	0.97
Самгорское	0.7	5.433	0.73	0.801	3.521	0.95
Сионское	0.729	7.831	0.88	0.835	7.569	0.95
Кайракумское	0.625	7.519	0.84	0.963	2.255	0.96
Каттакурганское	0.554	7.842	0.89	0.763	3.521	0.94

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИНАМИКИ ПОДЛЕДНЫХ ПОТОКОВ

Е.И. Дебольская

Институт водных проблем РАН, 117735, Москва, ул. Губкина, д.3

В исследованиях динамики подледных потоков можно выделить несколько основных направлений: 1) изучение скоростных характеристик представляется в настоящее время достаточно изученным на гидравлическом уровне; 2) расчет сопротивления потоков и связанной с ним пропускной способности в зимний период также можно отнести к хорошо изученной области; 3) изучение процесса заторообразования достаточно описано на уровне наблюдений и классификации; 4) моделирование и прогноз; 5) исследование обменных процессов (которые включают в себя перенос примеси и транспорт наносов). Последние два из перечисленных направлений можно отнести к мало исследованным. В связи с этим представляемая работа посвящена задачам и проблемам, относящимся именно к этим областям.

В зависимости от целей и возможностей исследователей математическое и численное моделирование подледных потоков также как и других гидродинамических объектов разделяется на одно-, двух- и трехмерное.

Одномерное и двухмерное (в горизонтальной плоскости) призвано решать проблему пропускной способности, заторообразования и в какой-то степени - переноса примеси, то есть в основном прогностические задачи,

Двухмерное (в вертикальной плоскости) и трехмерное моделирование начелено прежде всего на решение задач турбулентного обмена, переноса примеси и транспорта наносов. Кроме того, оно может способствовать теоретическому решению перечисленных проблем, к которому должно быть привлечено