

## ЛАБОРАТОРИЯ ГИДРОЛОГИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ. ЧАСТЬ 2 [Зиновьев, 2007]

Ряд научных исследований, которые в настоящее время выполняются в лаборатории гидрологии и геоинформатики, существенно связан с задачами, которые были сформулированы изначально и решались в других структурных подразделениях нашего института. Поэтому, говоря о сегодняшнем дне нашей лаборатории, будет уместно вспомнить об этих задачах и о людях, которые работали над их решением.

В период становления Института водных и экологических проблем перед его коллективом была поставлена весьма серьезная научно-практическая задача по оценке последствий строительства Катунских ГЭС. Участие сотрудников гидродинамики и гидрофизики водоемов в данной работе состояло в разработке комплекса математических моделей для прогноза влияния гидростроительства на изменение гидроледотермического режима реки Катунь на участках верхнего и нижнего бьефов и исследование способов минимизации негативных влияний на окружающую среду. В дальнейшем это вылилось в решение научных и практических задач, возникающих как при оценках влияния проектируемого крупномасштабного гидростроительства на окружающую среду, так и при изучении соответствующих процессов для действующих гидроузлов.

Известно, что строительство крупных гидротехнических сооружений приводит к существенным изменениям гидротермического и ледового режимов рек. В нижнем бьефе в зимний период образуется незамерзающая полынья и повышается влажность воздуха. В условиях крупных промышленных центров повышенная влажность воздуха может привести к образованию кислотных туманов, в горах – к обледенению дорог. Изменение температурного режима реки и условий газообмена в нижних бьефах в результате гидростроительства влияет на речную флору и фауну и приводит к изменению самоочищающей способности реки. Эти изменения часто носят негативный характер и требуют предварительной оценки на этапе проработки экологических последствий гидростроительства. Существенную роль при получении таких оценок играют методы математического моделирования.

В течение 1988 г. для оценки экологических последствий проектировавшейся Катунской ГЭС на основе одномерного вертикального приближения (т.н. 1DV-модель) был разработан комплекс программ для расчета вертикальной термической структуры глубокого водохранилища и выполнены первые вариантные расчеты, позволившие оценить изменения ледотермического режима р. Катунь на участке водохранилища и температуру вытекающей воды [Зиновьев, 1989а; 1989б]. В этой работе были существенно использованы подходы к моделированию вертикальной температурной стратификации глубоких озер, разработанные в предшествующие годы д.ф.-м.н. Квоном В.И. Первые оценки размеров полыньи нижнего бьефа Катунской ГЭС по положению створа нулевой изотермы (стационарное приближение) были выполнены к.ф.-м.н. Думновым С.В.

Использование вертикального приближения при описании картины годовой картины температурной стратификации в глубоких проточных водоемах позволило нам вместе с м.н.с. Кузьминым А.А. исследовать влияние селективного водозабора на ледотермический режим водохранилища и температуру вытекающей воды [Зиновьев и др., 1990]. В работах по моделированию динамики ледяного покрова замерзающих водоемов принял участие м.н.с. И.Е. Маслиев [Zinoviev et al, 1990]. С Кузьминым А.А. были выполнены численные расчеты по устойчивости термической структуры стратифицированного водоема к ветровым нагрузкам в различные гидрологические сезоны [Зиновьев и др., 1991]. По инициативе О.Ф. Васильева для выполнения детальных исследований влияния селективного водозабора на длину полыньи в нижнем бьефе ГЭС 1DV-модель была усовершенствована путем использования описания селективной струи, разработанного к.ф.-м.н. Бочаровым О.Б. [Васильев и др., 1991]. Результаты выполненных исследований по использованию 1DV-модели для оценки последствий крупномасштабного гидростроительства (на примере Катунской ГЭС) были доложены на XXIV Конгрессе МАГИ [Bocharov et al, 1991].

В конце 80-х годов в лаборатории гидродинамики поверхностных и подземных вод (зав.лаб. к.т.н. Атавин А.А.) для комплексной оценки влияния гидростроительства на температурный и ледовый режимы р. Катунь параллельно с работами по 1DV-модели началась разработка математической модели гидроледотермических процессов в реках на участках нижних бьефов. Одномерная нестационарная (1DH) модель ледотермических процессов в нижнем бьефе Катунской ГЭС была создана в 1991 г. к.т.н. Атавиным А.А., к.ф.-м.н. Кудишиным А.В. с участием автора [Атавин и др., 1991]. Совместное использование 1DV- и 1DH-моделей позволило изучить влияние селективного водозабора на размеры полыньи в зимние периоды [Бочаров и др., 1992; Атавин и др., 1992]. В более поздних версиях 1DH-модели при описании ледовых и гидравлических процессов в нижних бьефах ГЭС стал учитываться видовой состав шугового материала и изменение толщины ледяного покрова по длине водотока.

В начале 90-х годов разработанные программные комплексы на основе 1DV- и 1DH-моделей были использованы для прогноза изменений гидроледотермического режима р. Томь на участках верхнего и нижнего бьефов проектируемого Крапивинского гидроузла [Атавин и др., 2004]. Были изучены возможности использования селективного водозабора для минимизации изменений температурного и ледового режимов зарегулированной реки от бытовых условий.

Использование одномерного вертикального приближения получило развитие при изучении трансформации твердого и химического стока рек в результате строительства глубоких водохранилищ [Зиновьев и др., 1993а]. С учетом того, что гидрофизические процессы существенно определяют протекание гидрохимических и гидробиологических процессов, на базе разработанной 1DV-модели был выполнен комплекс исследований, связанных с транспортом растворенной и взвешенной примеси в стратифицированном водохранилище [Васильев и др., 1993; Vasiliev et al,

1993; Зиновьев и др., 1995]. Выполненные при участии м.н.с. Иванова П.В., к.ф.-м.н. Сухенко С.А., к.ф.-м.н. Цхая А.А. работы по моделированию поведения растворенной примеси в стратифицированном водохранилище позволили оценить изменение стока ртути в р. Катунь после строительства Катунской ГЭС. Решение одномерной задачи о трансформации твердого стока стратифицированным водохранилищем (в работе участвовали вместе с автором м.н.с. Кузьмин А.А. и к.ф.-м.н. Копылов Ю.Н.) дало динамику общей массы наносов, осажденных в водохранилище и сброшенных в нижний бьеф. В последнем случае численные результаты были получены как методом конечных разностей, так и методом Монте-Карло. При выбранных для расчетов входных гидрологических данных ~ 15% от общей массы поступающих в Катунское водохранилище наносов будет сбрасываться в нижний бьеф. Результаты расчетов позволили, к примеру, утверждать, что процесс трансформации поступающего в водохранилище твердого стока будет происходить в основном с мая по сентябрь.

С участием автора м.н.с. Ивановым П.В. и м.н.с. Кузьминым А.А. была численно решена в одномерном приближении задача по описанию миграции и трансформации растворенных газов (на примере кислорода) в стратифицированном водохранилище в течение гидрологического года [Zinoviev et al, 1994]. На основе 1DV-модели разработана одномерная вертикальная модель кислородного режима глубокого водохранилища и выполнены оценки изменения газового режима реки Катунь на участке верхнего бьефа в результате проектировавшегося гидростроительства. Моделирование миграции растворенной примеси и кислородного режима в стратифицированных озерах и водохранилищах показало важную роль годового температурного режима (и соответственно коэффициентов эффективного турбулентного обмена) на формирование качества воды в верхнем и нижнем бьефах. Позднее данные исследования были продолжены автором в период его работы в Лаборатории водной экологии вместе с к.б.н. Кирилловым В.В. и н.с. Марусиным К.В. [Зиновьев и др., 2005].

Математическое моделирование температурного режима в стратифицированных озёрах и водохранилищах требует привлечения адекватных аппроксимаций вертикального турбулентного обмена. При моделировании вышеупомянутых динамических процессов в стратифицированных водохранилищах для задания коэффициентов эффективного переноса в уравнениях переноса для скорости, температуры (концентрации) использовалась ( $E - \epsilon$ )-модель турбулентности. Однако в ней не учитывается демпфирование вертикальных пульсации скорости вблизи дна и свободной поверхности, что делает проблематичным получение достоверных характеристик турбулентности в соответствующих областях течений. Корректное моделирование параметров турбулентного обмена в зоне термоклина также является актуальной задачей, от решения которой зависит возможность адекватного описания процессов переноса тепла и вещества между поверхностными и придонными областями в стратифицированных водоёмах. В начале 90-х годов по инициативе акаде-

мика Васильева О.Ф. в лаборатории гидродинамики поверхностных и подземных вод были выполнены работы по уточнению описания процессов вертикального переноса в неоднородных турбулентных течениях. В результате разработан расширенный вариант ( $E - \varepsilon$ )-модели турбулентности, использующей алгебраические соотношения для вычисления напряжений Рейнольдса и коэффициентов турбулентного обмена. В этих работах приняли участие сотрудники ИТПМ СО РАН к.ф.-м.н Яковенко С.Н. и д.ф.-м.н. Курбацкий А.Ф. [Васильев и др., 1994].

С использованием усовершенствованной модели турбулентности выполнены расчеты заглупления перемешанного слоя под действием ветровых напряжений в нейтральном и устойчиво стратифицированном пристенных течениях. Проведено сравнение результатов расчета устойчиво стратифицированного течения по модифицированной и стандартной двухпараметрическим моделям турбулентности с экспериментальными данными. Результаты расчетов показали лучшую сходимость по усовершенствованной модели турбулентности, в частности, по скорости заглупления перемешанного слоя [Васильев и др., 1994; Зиновьев и др., 1994; Зиновьев и др., 1998].

В качестве интересного приложения 1DV-модели был выполнен расчет температурной стратификации Телецкого озера - уникального природного водоема, расположенного на юге Западной Сибири в заповедной зоне Горного Алтая. Выше упоминалось, что в стратифицированных водоемах температурный режим существенно определяет динамику химических и биологических процессов, эффективное и адекватное моделирование переноса тепла выходит на первый план в теоретических исследованиях экосистем крупных водных объектов. Гидротермический режим Телецкого озера описан с учетом его проточности и формирования ледяного покрова в зимний период года. На основе натурных данных впервые была рассчитана термическая структура озера и рассмотрены факторы, влияющие на ее формирование [Зиновьев, 1994; Зиновьев, 2002].

Расчеты в согласии с натурными данными показали, что Телецкое озеро является димиктическим водоемом с двукратным перемешиванием в течение года. Построенные по результатам расчетов изолинии температуры наглядно продемонстрировали, что в озере два раза в год при температуре максимальной плотности воды возникает термическая неустойчивость и развивается вертикальная циркуляция. Модель удовлетворительно воспроизводит развитие температурной стратификации в летне-осенний период (глубину стратификации и длительность ее состояния), ход температуры поверхности озера. Сравнение расчетных распределений температуры с натурными данными показывает хорошее количественное согласие в сроках смены гидрологических сезонов и качественное совпадение по виду температурных профилей. В конце декабря - начале января температура поверхностных слоев воды опускается до  $0^{\circ}\text{C}$  и на озере начинает формироваться ледяной покров.

В целом одномерная вертикальная гидротермическая модель (1DV-модель) хорошо воспроизводит температурный режим Телецкого озера. Удовлетворительное совпадение результатов

расчетов с данными натурных наблюдений дало основание использовать одномерное вертикальное приближение для изучения различных гидрофизических и гидрохимических процессов в Телецком озере [Зиновьев и др., 2005].

В 90-х годах в рамках научных исследований лаборатории математического моделирования, а затем лаборатории моделирования гидрофизических и экологических процессов продолжалась разработка комплекса математических моделей для количественных оценок термического и ледового режима в нижних бьефах ГЭС и гидроузлов [Atavin et al, 1993; 1996; Атавин А.А. и др., 2000]. Решением задачи для описания гидроледотермического режима зарегулированного участка реки также занимались наши красноярские коллеги во главе с д.ф.-м.н. В.М. Белолипецким. Предложенная в их работах математическая модель включала в качестве отдельных блоков следующие подмодели: гидравлического режима руслового потока, температурного режима реки, транспорта шугового материала, движения кромки льда и роста-таяния сплошного ледяного покрова, теплообмена с атмосферой. Однако в данной модели не учитывалось видовое разнообразие шугового материала, что может в отдельных случаях приводить к существенным ошибкам в определении размеров полыньи. Эти неточности связаны с тем, что в модели шугообразования входит эмпирическая зависимость, коэффициенты которой определяются с существенным разбросом значений. При наличии натурных данных по объекту ошибку можно минимизировать, в противном случае остается неопределенность в результатах вычислений. Учет состава шуги позволяет уменьшить эту неопределенность. Данная работа была выполнена к.ф.-м.н. Кудишиным А.В. [Кудишин, 1996]. Также было уточнено описание гидравлического режима водотока. Для расчета гидравлического режима водотока нами используются одномерные уравнения Сен-Венана. В зимнее время при наличии ледяного покрова возникают дополнительные силы сопротивления и давления. Увеличение сил трения связано с увеличением смоченного периметра водотока за счет нижней поверхности льда. Дополнительное давление на поверхность воды со стороны ледяного покрова формируется за счет веса льда и его упругих свойств. Для реальных ситуаций градиент толщины ледяного покрова на реках может быть сопоставим с уклоном водной поверхности. Поэтому достаточно универсальные гидроледотермические модели должны включать учет градиента толщины ледяного покрова на гидродинамику речного потока.

Базовая модель разработанного в ИВЭП СО РАН вычислительного комплекса - модель гидравлического режима нестационарного руслового потока включает учет градиента толщины ледяного покрова на гидродинамику речного потока. Среди прочих основных моделей - модель температурного режима реки, модель образования и переноса шугового материала, модель движения кромки льда, модель роста-таяния ледяного покрова. Комплексная математическая модель была апробирована путем расчета движения кромки льда в нижнем бьефе Красноярской ГЭС. Как было сказано выше, с использованием данной модели был решен ряд важных научно-

практических задач, связанных с оценкой изменений ледотермического режима рек Катунь и Томь на участках нижних бьефов проектируемых ГЭС и гидроузла.

В последние годы развитие 1DH-модели связано с получением количественных оценки минимально необходимых попусков в нижний бьеф в зимние месяцы эксплуатации водохранилища Новосибирского гидроузла. При выполнении данных исследований было показано, что результаты численного моделирования динамики ледяного покрова в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС могут служить основой обоснования режимов попусков, позволяющих обеспечить устойчивое функционирование речных водозаборов в районе г. Новосибирска [Зиновьев и др., 2004].

Построена компьютерная модель нижнего бьефа действующей Новосибирской ГЭС: математическая модель гидроледотермического режима зарегулированного участка реки в нижнем бьефе ГЭС была адаптирована для расчетов длины полыньи в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла, для чего использованы подготовленные данные по морфометрии и шероховатости русла на рассматриваемом участке реки.

Для апробации гидравлической модели были сопоставлены рассчитанные характеристики речного потока в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС при отсутствии ледовых явлений с данными наблюдений на 20-километровом приплотинном участке реки. При расчетах рассредоточенный сток и притоки для данного участка р. Обь не учитывались в силу их малости. Близость расчетных и натурных данных позволяет сделать вывод о том, что используемая математическая модель правильно описывает течение реки в нижнем бьефе ГЭС.

Для оптимизации режима попусков из Новосибирского водохранилища численно исследовано влияние метеоусловий и расходов из Новосибирского водохранилища на уровень водной поверхности реки в районе основного водозабора г. Новосибирска (НФС-5, 15,6 км от створа Новосибирской ГЭС). Результаты выполненных исследований показали, что подъем уровня воды в районе водозабора НФС-5 в результате подпора может достигать до 0,5 - 1,0 м, если кромка льда будет находиться достаточно близко к плотине ГЭС (не более 30 км). Результаты расчетов для различных фиксированных расходов показали, что размеры участка влияния подпора из-за наличия льда составляют 20-30 км.

На заключительном этапе расчетов определены минимально необходимые расходы сбрасываемой в нижний бьеф воды при различных положениях кромки ледяного покрова и значения удельного теплового потока, определяющие при заданной величине попуска положение кромки льда. Совместное использование этих расчетных данных позволяет построить методику оптимизации попусков из водохранилища при зимних маловодьях, основанную на учете положения кромки ледяного покрова [Атавин и др., 2005а].

Основным итогом этой важной в практическом плане работы является то, что показано - в условиях маловодий имеется возможность обеспечения нормальной работы городского водозабо-

ра при минимальных объемах попусков из водохранилища путем учета положения кромки ледяного покрова [Атавин и др., 2005б].

В 2005-2006 гг. в рамках выполнения НИОКР по теме “Разработка численных моделей для описания гидроледотермических процессов в водохранилищах и нижних бьефах ГЭС и гидроузлов” по программе СТАРТ-2005 были созданы прототипы программных продуктов для описания гидроледотермических моделей процессов в бьефах ГЭС и гидроузлов. В Роспатенте получены два свидетельства о регистрации программ для ЭВМ: «Гидротермика-1DV» и «Гидроледотермика-1DH», зарегистрированные в Роспатенте (№ 2006610297 от 16.01.06 и № 2006611428 от 26.04.06 соответственно) [Зиновьев, 2006; Зиновьев и др., 2006]. В данной работе вместе с автором принимали участие к.т.н. Атавин А.А., к.ф.-м.н. Кудишин А.В., н.с. Марусин К.В., асп. Зиновьев Н.В. В настоящее время исследование с использованием 1DV- и 1DH-моделей продолжается в лаборатории гидрологии и геоинформатики. В частности, разрабатывается с участием н.с. Марусина К.В. и асп. Зиновьева Н.В. 1DV-модель для описания процессов тепло- и массопереноса в западной части Аральского моря.

Важными направлениями научных исследований, выполняемых сейчас в рамках научной деятельности лаборатории гидрологии и геоинформатики, являются разработка математических моделей русловых процессов в равнинных реках и математических моделей гидроледотермических явлений на реках (зажоры, заторы).

Работы по прогнозированию локальных деформаций речного дна с использованием методов компьютерного моделирования начались в 2006 г. с участием н.с. Марусина К.В., м.н.с. Шибких А.А. и д.ф.-м.н. Шлычкова В.А. Эффективность мероприятий по регулированию русел рек и управлению русловыми процессами, устойчивость и надежность инженерных сооружений в руслах рек во многом зависят от того, в какой мере они соответствуют режиму реки и учитывают специфику русловых процессов в конкретной природной обстановке. Сочетание современных методов математического моделирования и ГИС-технологий позволяет всесторонне изучать русловые процессы с привлечением всей имеющейся информации по конкретному объекту (морфологической, гидрологической и пр.) и знаний в данной предметной области путем создания компьютерных моделей исследуемых процессов для отдельных участков рек.

К настоящему времени созданы компьютерные модели русловых процессов на основе одномерной горизонтальной и двумерной горизонтальной моделей течения в приближении теории мелкой воды, которые использованы в ряде практических приложений для получения оценок и прогнозов развития русловых процессов при реализации различных проектируемых инженерных мероприятий. В общем случае создание компьютерной модели руслового процесса на рассматриваемом участке реки подразумевает разработку гидравлической модели и модели русловых про-

цессов с использованием ГИС-приложений для построения цифровой модели рельефа речной долины.

При моделировании в качестве данных о рельефе территории выступает единая цифровая модель рельефа (ЦМР) русла реки и прирусловой территории. В качестве исходной информации о рельефе прирусловой территории используется картографическая информация с топокарт и топопланов или информация о значениях превышения бровки берега над уровнем воды. Значения отметок дна русла реки вычисляется через значения глубин и отметок уровня воды или, в некоторых случаях, задаются в виде абсолютных высот. Использование ГИС облегчает сведение этих разнородных данных в единую ЦМР. Кроме того, использование ГИС упрощает построение "виртуальных" ЦМР для моделирования гидрологической ситуации при проектируемых вариантах берегоукрепительных работ или работ по расчистке русла.

Двумерные компьютерные модели были созданы для изучения русловых процессов на участках 1) р. Катунь у села Верх-Катунское Бийского района Алтайского края; 2) р. Обь у г. Барнаула в районе устья р. Барнаулка; 3) р. Обь у сел Сибирка и Кучук Шелаболихинского района Алтайского края [Zinoviev et al, 2007]. В настоящее время разрабатывается с участием к.ф.м.н. Кошелева К.Б. компьютерная модель русловых процессов на участке р. Обь в районе первого и второго барнаульских водозаборов.

В первом примере исследуемый участок находится в нижнем течении р. Катунь. В своем нижнем течении после выхода с горной части на равнину р. Катунь развивается по типу пойменной многорукавности. Река образует одно-два основных русла и большое количество длинных второстепенных протоков. Отдельные рукава и протоки, в свою очередь, образуют слабовыраженные излучины, в их русле возникают многочисленные острова, отмели, перекаты. Русловые переформирования на участке сводятся к перераспределению расходов по рукавам при прохождении весенне-летнего половодья.

Одной из основных целей проектируемых инженерных мероприятий по расчистке русла являются обеспечение пропуска воды по основному руслу р. Катунь для предотвращения размыва правого берега в районе с. Верх-Катунское. Для оценки эффективности проектируемых инженерных мероприятий по изменению рельефа русла рассмотрены русловые процессы на участке расчистки при различных гидрологических ситуациях в бытовых условиях и при разработке прорезей при разных вариантах проведения дноуглубительных работ.

Компьютерное моделирование показало, что спрямление речного потока на данном участке расчистки русла р. Катунь у с. Верх-Катунское позволит в узле разветвления перераспределить расход воды и направить основной поток через центральное русло и левые второстепенные протоки. После выполнения инженерных работ снизится вероятность размыва правого берега у с. Верх

– Катунское в период межени и, предположительно, во время паводков. Расчеты также показали устойчивость разрабатываемых прорезей.

Для решения второй задачи была разработана компьютерная модель русловых процессов для однорукавного участка р. Обь у г. Барнаула в районе устья р. Барнаулки и на ее основе изучены местные деформации речного дна в разные гидрологические сезоны при бытовых условиях и после укрепления берегов рек Обь и Барнаулка.

При укреплении берегов рек Обь и Барнаулка изменится геометрия речного русла Оби, при этом объемы жидкого и твердого стока в пределах рассматриваемого участка реки останутся прежними. Выполненное компьютерное моделирование русловых процессов на участке р. Обь у г. Барнаула показало, что один из предлагаемых вариантов берегоукрепительных мероприятий существенно не изменит скоростную структуру речного потока и тенденции развития современных русловых процессов на рассматриваемом участке реки. При другом варианте кинематическая структура речного потока может претерпеть качественные изменения, в результате чего изменятся условия взаимодействия потока и русла. Так, у левого берега реки ниже по течению участка проведения берегоукрепительных работ будет формироваться циркуляционная зона. В результате на данном участке русла усилятся процессы аккумуляции и повысятся отметки дна. Перед фронтом сооружения возникнет область локального размыва русла. Можно ожидать усиления процесса отклонения стрежневой зоны речного потока вправо из-за усиления размыва русла у правого берега. Эти локальные изменения протекания руслового процесса не отвечают требованиям хозяйственной деятельности на рассматриваемом участке реки.

В третьем случае выполнено компьютерное моделирование русловых процессов на участке р. Обь у сел Сибирка и Кучук Шелаболихинского района Алтайского края для изучения возможных последствий изменения рельефа русла при проведении русловыправительных работ.. Проектируемые инженерные мероприятия направлены на решение комплексной задачи - создание условий для беззаторного пропуска льда на участке расчистки и обеспечение благоприятных условий для судоходства путем разработки системы устойчивых к заилению прорезей через перекаты при минимальных объемах вынимаемого руслового аллювия.

Выполненные расчеты позволили подобрать такое расположение русловыправительных прорезей на исследуемом участке р. Обь, при котором будут созданы благоприятные условия для прохождения льда во время весеннего половодья. Дополнительной возможностью создания сосредоточенного водного потока может быть частичное перекрытие вынимаемым речным аллювием левого рукава на участке разветвления потока. Следует отметить, что ликвидация русловых препятствий для пропуска льда на участке расчистки не гарантирует беззаторный пропуск льда на соседних участках реки. Разовое изъятие значительных объемов речного аллювия на участке расчи-

стки не вызовет существенной посадки уровня реки. Проведение проектируемой расчистки русла также обеспечит благоприятные условия для судоходства.

Для узких речных участков большой протяженности разработана методика компьютерного моделирования течения и русловых процессов на участке реки большой протяженности, основанная на комбинированном применении одномерных математических моделей течения и инженерных методов построения плановой картины русловых деформаций. Данная методика использована для оценки эффективности комплекса планируемых инженерных мероприятий по преодолению негативных последствий современной гидроморфологической ситуации на р. Чарыш в районе водозабора Чарышского группового водопровода [Зиновьев и др., 2006].

Заделом для исследований по математическому моделированию гидродотермических явлений на реках (зажоров и заторов) являются работы по описанию ледотермических процессов в нижних бьефах ГЭС и гидроузлов [Атавин и др., 2000]. По инициативе академика Васильева О.Ф. также выполнены работы по созданию аналитического обзора современных методов математического моделирования ледовых процессов и явлений в реках и водохранилищах. Частично результаты данной работы содержатся в монографии [Зиновьев и др., 2006]. В настоящее время с участием к.ф.-м.н. Кудишина А.В. выполняются работы по созданию концептуальной модели заторообразования на широких реках. Компьютерная модель процесса заторообразования будет реализована для участка р. Обь в районе села Шелаболиха Алтайского края, где ежегодно наблюдается формирование затора торшения и заторное наводнение. Для построения плановой 2DH-модели заторообразования формируется при участии м.н.с. Шибких А.А. гидроморфометрическая база данных. Для ее создания планируется также использовать результаты космического мониторинга (асп. Боевко К.А.).

К числу выполняемых в настоящее время исследований лаборатории гидрологии и геоинформатики по разработке и совершенствованию методов оценки и прогнозирования количества и качества поверхностных вод на основе математического моделирования процессов формирования жидкого, твердого и химического стока относятся работы к.г.н. Галахова В.П. Современные исследования с.н.с. Ловцкой О.В. направлены на создание информационно-моделирующих и геоинформационных систем природоохранного назначения. В целом, выполняемые в настоящее время в лаборатории исследования являются фундаментальными и прикладными разработками в области изучения, оценки, прогнозирования и рационального использования водных ресурсов на основе математического моделирования и гидрологического анализа природных процессов с использованием геоинформационных технологий.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Зиновьев А.Т. Сезонная термическая модель глубокого водоема / III Всесоюз. конф. «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидродинамики»: Тез. докл. - Новосибирск: Изд-во ИТ СО АН СССР, 1989а. – С. 227.
2. Зиновьев А.Т. Моделирование температурного режима проектируемого Катунского водохранилища / Всесоюз. конф. «Основные направления развития Алтайского края»: Тез. докл. – Барнаул, 1989б. – С. 73-74.
3. Зиновьев А.Т., Кузьмин А.А. Влияние селективного водозабора на термический режим проектируемого водохранилища / XVII школа-семинар «Математическое моделирование в проблемах рационального природопользования»: Тез. докл. - Ростов-на-Дону - Новороссийск: Изд-во РГУ, 1990. – С. 148.
4. Zinoviev, A.T., Kuzmin A.A., Masliev I.E. Mathematical modelling of temperature stratification in a deep water basin / In Proc. “Application of Computers in Hydrotechnics and Water Source Protection”. – Varna: BAS, 1990. - P. 346-355.
5. Зиновьев А.Т., Кузьмин А.А. Моделирование ветровых воздействий на температурную стратификацию глубокого водохранилища / Сибирский физико-технический журнал. – 1991а. – N 4. - С. 154-157.
6. Васильев О.Ф., Бочаров О.Б., Зиновьев, А.Т. Математическое моделирование гидротермических процессов в глубоких водоемах / Гидротехническое строительство. – 1991б. - № 7. - С. 3-5.
7. Zinoviev, A.T. Mathematical modelling of hydrothermal processes of deep-water reservoirs / O.B. Bocharov, O.F. Vasiliev, A.T. Zinoviev // In Proc. XXIV IAHR Congress “Refined flow. Modeling”. - Madrid: CEDEX, 1991. - Vol. C. - P. 467-476.
8. Атавин А.А., Зиновьев А.Т., Кудишин А.В. Математическое моделирование гидротермических процессов в нижнем бьефе ГЭС / XX Всесоюз. школа «Математическое моделирование в проблемах рационального природопользования»: - Тез. докл. - Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1991. – С. 43-44.
9. Бочаров О.Б., Зиновьев А.Т. Влияние селективного водозабора на годовой термический режим глубокого водоема / Водные ресурсы. – 1992. - № 5. - С. 52-59.
10. Зиновьев, А.Т. Модель процесса седиментации в глубоких водоемах / А.Т. Зиновьев, Ю.Н. Копылов, А.А. Кузьмин, Я.В. Сапрыкина // Первая Всесибир. конф. «Математические проблемы экологии»: Тез. докл. – Новосибирск: Изд-во ИМ СО РАН, 1992. – С. 22-23.
11. Атавин А.А., Зиновьев А.Т., Кудишин А.В. Прогноз изменений гидротермического режима в нижнем бьефе проектируемой ГЭС / Первая Всесибир. конф. «Математические проблемы экологии»: Тез. докл. – Новосибирск: Изд-во ИМ СО РАН, 1992. - С. 91-92.

12. Атавин А.А., Зиновьев А.Т., Кудишин А.В. Гидроледотермический режим в бьефах Крапивинского гидроузла. Прогноз и вопросы управления / Ползуновский вестник. - 2004. - № 2. - С. 39-44.
13. Зиновьев А.Т., Иванов П.В., Копылов Ю.Н., Кузьмин А.А., Маслиев И.Е. Математическое моделирование динамических процессов в глубоком водохранилище / Вычислительные технологии. – Новосибирск: Изд-во ИВТ СО РАН, 1993а. – С. 104-113.
14. Васильев О.Ф., Зиновьев А.Т., Иванов П.В., Сухенко С.А. Математическая модель миграции растворенной примеси в системе водохранилище-затопленные почвы / Водные ресурсы. – 1993. - Т. 20. – N 6. - С. 701 - 706.
15. Vasiliev O.F., Kopylov Yu.N., Kuzmin A.A., Zinoviev A.T. Mathematical modeling of sedimentation in deep reservoir / Advances in Hydro-Science and Engineering. Edited by Sam S.Y. Wang. – Washington. – 1993. - Vol. 1. - Part A. – P. 853-859.
16. Зиновьев А.Т., Копылов Ю.Н., Кузьмин А.А. Одномерная вертикальная модель процесса седиментации в глубоком водохранилище / Водные ресурсы. - 1995. – Т. 22. - N 6. - С. 676-683.
17. Ivanov P.V., Kuzmin A.A., Zinoviev A.T. Mathematical modeling of dissolved oxygen dynamic in a deep reservoir / In Proc. IAWQ 17<sup>th</sup> Biennial Conference. - Budapest, 1994.
18. Зиновьев А.Т., Кириллов В.В., Марусин К.В., Андреева А.Ю. Прогноз качества воды глубоких водохранилищ для решения задач управления / Ползуновский вестник. - 2005. - № 4. - Ч. 2. - С. 101-106.
19. Васильев О.Ф., Зиновьев А.Т., Курбацкий А.Ф., Яковенко С.Н. Моделирование турбулентного переноса в стратифицированных водоемах с использованием алгебраической модели напряжений Рейнольдса / IV Конференции «Динамика и термика рек, водохранилищ и окраинных морей»: тез. докл. - М.: Изд-во ИВП РАН. – Т. 1. - 1994. – С. 49.
20. Зиновьев А.Т., Яковенко С.Н. Моделирование вертикального турбулентного обмена в пристенном стратифицированном течении / Прикладная механика и техническая физика. – 1998. - Т.39. - № 6. – С. 57-64.
21. Зиновьев А.Т. Моделирование ледотермического режима Телецкого озера / Международ. симпозиум «Гидрологические и экологические процессы в водоемах и их водосборных бассейнах»: Тез. докл.. – Новосибирск: Изд-во ИВЭП СО РАН, 1994. - С. 34.
22. Зиновьев А.Т. Моделирование температурной стратификации Телецкого озера / Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. - Новосибирск: Изд-во ИАЭ СО РАН, 2002. - Вып. 1. – С. 212-216.
23. Зиновьев А.Т., Кириллов В.В., Марусин К.В. Кислородный режим Телецкого озера: моделирование и натурные данные / Матер. конференции «Фундаментальные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов». – Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2005. - С. 416-418.

24. Atavin A.A., Zinoviev A.T., Kudishin A.V. Mathematical modelling of hydrotechnical impact construction influence on hydrothermal and ice cover behavior of rivers / *Advances in Hydro-Science and Engineering*. Edited by Sam S.Y. Wang. – Washington. – 1993. - Vol. 1. - Part A. – 1993. - P. 1019-1024.
25. Atavin A.A., Zinoviev A.T., Kudishin A.V. Mathematical modeling of hydrotechnical construction influence on hydrothermal and ice cover behavior of rivers / *Inzynieria Srodowiska VIII: Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wroclawiu*. - NR 301. - 1996. - P. 15-23.
26. Атавин А.А., А.Т. Зиновьев А.Т., А.В. Кудишин А.В. Математическое моделирование гидроледотермического режима зарегулированного участка реки. / *Труды Междунар. науч. конф. «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия»*. – Томск: Изд-во ТФ ИГНГ СО РАН, 2000. - С. 371-375.
27. Кудишин А.В. Математическое моделирование гидроледотермических процессов в реках / *Математические проблемы экологии. Труды III-й Международ. конференции МАПЭК-96*. - Новосибирск: СО РАН, 1996. – С. 57-66.
28. Зиновьев А.Т., А.А. Атавин А.А., А.В. Кудишин А.В. Ледовый режим нижнего бьефа Новосибирской ГЭС. Вопросы моделирования и управления / *Труды VI конф. «Динамик и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей»*. - М.: Изд-во ИВП РАН.-2004.-С.149-151.
29. Атавин А.А., Зиновьев А.Т., А.В. Кудишин А.В. Учет влияния ледового покрова в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла на режим эксплуатации гидроузла и обеспечение попусков в нижний бьеф (в условиях экстремальных гидрологических ситуаций) / *Фундаментальные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов: Матер. конференции*. – Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2005а. - С. 212-214.
30. Атавин А.А., Зиновьев А.Т., Кудишин А.В. Планирование попусков в нижний бьеф Новосибирского гидроузла в условиях экстремальных гидрологических ситуаций / *Ползуновский вестник*. – 2005б. - № 4. - Ч. 2. - С. 95-100.
31. Зиновьев А.Т. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2006610297 «Гидротермика-1DV (HT1DV)» / Заявка № 2005612513. Дата поступления 04.10.05. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 16.01.06.
32. Зиновьев А.Т., Кудишин А.В., А.А. Атавин А.А. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2006611428 «Гидроледотермика-1DH (Полынья)» / Заявка № 2006610634. Дата поступления 03.03.06. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 26.04.06.
33. Zinoviev A.T., Marusin K.V., Shibkikh A.A., Shychkov V.A., Zatinatsky M.V. Computer modeling of river evolution (rivers of Altai krai as a case study) / *In Proc. X international symposium on River Sedimentation*. Vol. 3 (August 1-4, 2007, Moscow, Russia) – М.: Faculty of Geography, MGU. – 2007. – 463-470.

34. Зиновьев А.Т., Кудишин А.В., Марусин К.В., Шибких А.А., Затицацкий М.В. Метод численного моделирования течения и деформаций русла (на примере участка р. Чарыш в районе Ильинско-Метелинского узла русловых разветвлений) / Трансформация социально-экономического пространства и перспективы устойчивого развития России. Матер. Международ. научной конф. (18-21 сентября 2006 г., Барнаул). – Барнаул, ИВЭП СО РАН, 2006. - С. 100-106.
35. Зиновьев А.Т., Марков А.М. Ледовые явления на реках и водохранилищах. Процессы, модели и методы расчетов. – Барнаул: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2006. – 132 с.
36. Зиновьев А.Т. Лаборатория гидрологии и геоинформатики. Часть 2 / Сборник статей, посвященный 20-летию юбилею ИВЭП СО РАН. – Барнаул, ИВЭП СО РАН, 2007. - С. 23–32.