

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ



УДК 528.94 : (551.51+519.6 + 502.1)

**Фалейчик Лариса Михайловна**  
Faleichik Larisa Mikhailovna

**Пьянова Эльза Андреевна**  
Pyanova Elza Andreyevna

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

#### THE USE OF GIS TECHNOLOGIES AND MATHEMATICAL MODELING FOR AN ASSESSMENT OF ENVIROMENT CHANGES UNDER THE INFLUENCE OF HUMAN ECONOMICAL ACTIVITY

*Приведены результаты исследований по оценке зоны потенциального влияния проектируемого водохранилища ГЭС на микроклимат окружающей территории, полученные с помощью мезомасштабной математической модели гидротермодинамики атмосферы над сложным рельефом. ГИС-технологии использовались для подготовки входной информации о подстилающей поверхности, визуализации и анализа результатов численных экспериментов. Полученные результаты позволяют провести эколого-экономический анализ последствий строительства ГЭС*

*There are research results of environmental impact assessment affected zone concerning anticipated reservoir of hydropower station and its influence on surrounding area microclimate. These results were got with mesogrid mathematical model of hydrothermodynamics of atmosphere of compound relief. GIS-technologies used for input information about underlying surface, visualization and analysis of outcomes of numerical experiments. The finding allows to analyze ecological and economic consequences of hydropower station construction*

**Ключевые слова:** *геоэкологические проблемы природопользования, состояние и качество окружающей среды, математическое моделирование локальных атмосферных процессов, охрана природы, антропогенное воздействие*

**Key words:** *geoecological problems of nature management, environmental conditions and quality, mathematical modeling of local atmospheric processes, nature conservation, man's impact*

**П**риродная среда, ее состояние и качество, их изменения, обусловленные факторами естественного и антропогенного характера, – это одна из глобальных про-

блем, привлекающих к себе внимание многих исследователей. Одни изменения природной среды, происходящие в результате естественных процессов, человечество может предска-

зывать и учитывать их в своей хозяйственной деятельности, другие носят непредсказуемый характер и силу, такие как результаты различного рода катаклизмов: ураганов, землетрясений, наводнений и т.п. Но изменения окружающей среды в результате человеческого вмешательства в процессы, в ней происходящие, часто могут быть сопоставимы с воздействием упомянутых катаклизмов и носят необратимый характер. Поэтому в процессе хозяйственной деятельности человек должен стремиться не только к достижению социально-экономических или иных целей, но и к тому, чтобы его деятельность не нанесла непоправимый урон природной среде в целом и ее составляющим, в частности.

При решении задач, связанных с охраной окружающей среды, с оценкой качества ее состояния и рациональным природопользованием, используется большое количество пространственно распределенной информации о параметрах природной среды: высоте местности, крутизне и ориентации склонов, их отражающей способности (альбедо), распределении влажности, давления и температуры на подстилающей поверхности и т.д. Часто большая часть этой информации содержится на различных географических и тематических картах, на аэро- и космоснимках. Работу с такими данными, их визуализацию, пространственный анализ и представление результатов анализа значительно облегчает использование технологии географических информационных систем – ГИС. Обладая мощными инструментами визуализации (графического представления), анализа и моделирования, позволяющими свести воедино наши знания об окружающем мире, измерения и расчеты, ГИС-технологии получают широкое распространение в сфере мониторинга, управления и планирования, предоставляя информационную основу для процедуры принятия решений. Набор встроенных функций и инструментов, удобный интерфейс позволяют учитывать большое количество факторов, оказывающих влияние на процессы и объекты, выявлять но-

вые, неочевидные их сочетания. Удобство, быстрота и относительная простота инструментов ГИС позволяет использовать их для целей прогнозирования, для ответа на вопрос «Что, если...».

Одним из примеров вмешательства человека в природную среду, приводящим к необратимым последствиям, является строительство гидроэлектростанций. Еще в ходе строительства оказывается значительное воздействие на окружающую среду: изменяется рельеф – вместо одних, естественных природных форм, появляются новые – антропогенные (автомобильная и/или железная дороги, линии ЛЭП, гидротехнические сооружения и т.д.). Местами будет полностью снят или нарушен верхний почвенный покров, произойдет уничтожение растительности на этих территориях. Строительство оказывает негативное влияние на состояние воздушного бассейна, связанное с выбросами загрязняющих веществ от работы горнодобывающей техники, котельных установок в жилых поселках и при проведении буровзрывных работ. Кроме этого, в результате деятельности строительной техники возможно химическое воздействие и ухудшение экологической ситуации, связанное с загрязнением токсичными веществами и нефтепродуктами. Загрязнение воздушного бассейна, в свою очередь, негативно скажется на состоянии окружающей естественной растительности, приведет к ее угнетению и, тем самым, к ухудшению условий обитания животных. В ходе заполнения водохранилища будут затоплены значительные территории, уничтожена вся растительность на них и лишены мест обитания многие виды животного мира. Так как создание крупного водохранилища влечет за собой изменения термодинамических свойств подстилающей поверхности, то это приведет и к некоторой трансформации микроклимата окружающей местности.

Известно, что в различных природных поясах искусственные водоемы оказывают неодинаковое влияние на микроклимат. В засушливых зонах это влияние ощущается на

меньшем удалении от водоема и с более резкими переходами, чем в зонах с высокой влажностью. Масштабы изменений климата зависят также от рельефа местности вокруг водоема. Чем выше берега, тем быстрее затухают эти возмущения. Создание обширных водных поверхностей может привести к увеличению скорости ветра, в прибрежных зонах возникают бризовые циркуляции. В зависимости от сезона года водоемы могут оказывать как тепляющий, так и охлаждающий эффект на прилегающие территории.

ГИС-технологии в сочетании с математическим моделированием позволяют сделать прогноз и оценить масштабы последствий хозяйственной деятельности с учетом всех перечисленных аспектов.

В Сибирском федеральном округе РФ (в пределах Красноярского края и Иркутской области) завершается строительство каскада гидроэлектростанций на реке Ангара. Последней в этом каскаде является Богучанская ГЭС. Предполагается, что по окончании строительства объем водохранилища будет более 50 км<sup>3</sup>, его протяженность – свыше 350 км, площадь водного зеркала – более 2000 км<sup>2</sup>, максимальная ширина – 14...15 км, минимальная – до 1,2 км, затопливаемая площадь – около 1500 км<sup>2</sup>.

Появление такого крупного водного объекта создаст значительные изменения термодинамических свойств подстилающей поверхности в рассматриваемом регионе, что, в свою очередь, повлечет за собой и изменения микроклимата, выражающиеся в изменении распределений полей основных метеоэлементов (температуры, влажности, скорости ветра и др.).

Для оценки воздействия водохранилищ и других крупных антропогенных объектов на природную среду широко применяются методы математического моделирования. Ряд исследований этого направления проведен в ИПРЭК СО РАН. Значительное число работ выполнено по моделированию мезометеорологических процессов и особенностей распространения загрязнений на территориях со сложным рельефом,

таких как Чарская и Читино-Ингодинская котловины. Методы математического моделирования с успехом использовались при проведении экологических экспертиз таких крупных проектов, как строительство Шилкинской и Катунской ГЭС. Важное место занимают работы по оценке антропогенного влияния на сохранение биоразнообразия экосистем рек Байкальского бассейна (р. Хилок, р. Баляга). Также были проведены численные эксперименты с целью анализа загрязнения городских воздушных бассейнов крупными источниками вредных выбросов примесей (ТЭЦ-1, г. Чита; Харанорская ГРЭС, п. Ясногорск).

В последние годы разработана новая версия мезомасштабной математической модели атмосферных процессов над сложным рельефом (ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск) [1], которая и использовалась для оценки возможных изменений микроклимата в районе Богучанского водохранилища.

*Методика расчета и используемая математическая модель для описания метеорологического режима исследуемой территории.* Поскольку в формировании любого атмосферного движения присутствуют два периодических процесса – суточное вращение Земли вокруг своей оси и ее годичное обращение вокруг Солнца, – то любые изменения гидротермодинамического режима, вызванные причинами локального масштаба, такими как образование значительной водной поверхности, охлаждающей окрестности летом, или незамерзающая зимой полынья, служащая источником дополнительного тепла и влаги, будут происходить на фоне этих периодических процессов. Поэтому для всех сезонов года (зима, лето, весна и/или осень) моделируется суточный ход полей метеоэлементов в условиях, характерных для данного времени года. Все расчеты ведутся параллельно в двух вариантах: один – водохранилище отсутствует, второй – есть открытая водная поверхность либо незамерзающая полынья. Для определения территории, на которой следует ожидать существенных изменений в характере динами-

ки полей метеозлементов, вычисляется разница между значениями в параллельных расчетах и отображаются изолинии полученных полей разностей.

В основу мезомасштабной модели гидротермодинамики атмосферы положена система уравнений, включающая уравнения движения, притока тепла, переноса влаги с учетом фазовых переходов и уравнение неразрывности [1, 2]. Результатом моделирования являются четырехмерные поля основных метеозлементов (компоненты скорости ветра, давление, потенциальная температура, удельная влажность).

Влияние орографических и термических неоднородностей подстилающей поверхности учитывалось в краевых условиях на нижнем расчетном уровне модели, который совпадает с верхней границей приземного слоя.

В модели также рассчитывается поток солнечной радиации, получаемый земной поверхностью, с учетом наклона и ориентации склонов относительно азимута Солнца, и температура подстилающей поверхности из уравнения баланса тепла на границе раздела атмосфера-почва.

*Численная реализация математической модели гидротермодинамики атмосферы с начальными и краевыми условиями проводилась с помощью конечно-разностных методов. Разностные схемы для системы уравнений модели строились на базе интегрального тождества, для его дискретизации по времени использовался метод расщепления по физическим процессам. Дробные шаги и схемы аппроксимации выбирались таким образом, чтобы на каждом временном шаге для задачи гидротермодинамики атмосферы получались три этапа: этап переноса и турбулентного обмена, задача согласования метеополей и учет фазовых переходов влаги [3]. В свою очередь, на этапе переноса и диффузии задача расщеплялась по пространству, где по каждому направлению строились монотонные, транспортные разностные схемы [4].*

Для учета рельефа использовался ме-

тод фиктивных областей [5-6].

*Входными данными* для используемой модели являются распределения фоновых полей метеорологических элементов (температуры, влажности, давления, ветра, плотности воздуха). Кроме того, задается температура воды в реке и водохранилище, размеры полыньи [7-8].

Одним из основных входных параметров этой модели является функция рельефа. Извлекать информацию о высотах и других характеристиках подстилающей поверхности с карт и снимков вручную – трудоемкий по времени и усилиям процесс, затраты которых зависят и от требуемой для моделирования подробности данных. Если же возникает необходимость провести расчеты с более подробным рельефом, то эту работу приходится проводить заново. Использование ГИС-технологий позволяет получить данные о рельефе и свойствах подстилающей поверхности в подходящем для использования в численной модели формате и представить результаты численного моделирования в форматах, удобных для визуализации, например, в таких настольных геоинформационных системах, как GIS ArcView или ArcGIS.

Для используемой трехмерной модели локальных циркуляций атмосферы подстилающая поверхность и ее характеристики описываются с помощью нескольких двумерных массивов, каждый элемент которых является числовым значением соответствующего показателя в определенной точке исследуемой области. Эти точки являются узлами построенной на поверхности регулярной прямоугольной сетки.

В данной работе в качестве исходной информации о рельефе исследуемой местности использовались данные SRTM, являющиеся простым 16-битным растром, значение пиксела является высотой местности над уровнем моря в данной точке. Они свободно распространяются квадратами размером  $1^\circ \times 1^\circ$ .

Для дальнейшего их использования в численной модели и в ГИС они были экспорти-

рованы в подходящий формат, с учетом их географической привязки [9]. Эта процедура проводилась в GlobalMapper. Достоинством этой программы можно считать и возможность получения выходных данных в одной из известных картографических проекций. Кроме того, в GlobalMapper имеется возможность экспорта данных о рельефе в текстовый файл (ASCII Text File) и обратно, преобразование данных, представленных в текстовом виде, в grids, векторные данные, изображения.

Для автоматизации процесса извлечения информации о подстилающей поверхности исследуемой области и привязки результатов моделирования к местности с целью их последующих визуализации и анализа в среде ГИС создавался точечный слой, объектами которого являлись узлы расчетной сетки, используемой в модели [10].

Построение регулярной прямоугольной сетки осуществлялось с использованием методов сфероидической геодезии (высшей геодезии) для вычисления длин дуг меридианов и параллелей. По заданной длине дуги меридиана и широте одного ее конца вычислялись разность их широт и, следовательно, широта второго ее конца. Эта задача решалась методом последовательных приближений с вычислением основных геодезических величин. Алгоритмы построения в ГИС регулярной сетки для прямоугольной и географической системы координат были представлены в виде функций, реализованных в модуле (расширении) для ArcGIS.

Разработанное программное средство позволяет извлекать из имеющихся растровых данных необходимую информацию о местности быстро и в удобном для моделирования виде. Полученные данные имеют географическую привязку, что позволяет в дальнейшем привязать результат моделирования к топографической карте, плану и отображать их совместно. Так как программные средства реализованы для ГИС ArcMap, это дает возможность построения трехмерных моделей местности для более детального и наглядного изу-

чения процесса, использования геоанализа. Кроме того, здесь, вместе с широким диапазоном изобразительных средств, существует возможность применения анимации для отображения явления или процесса в динамике. Данный модуль позволяет представить результаты моделирования в виде набора тематических слоев электронной карты. Кроме того, он не привязан к конкретной математической модели. Таким образом, модуль может использоваться в сочетании с любыми другими моделями, как средство подготовки исходных данных и визуализации полученных результатов.

Для оценки размеров зоны заметного влияния Богучанского водохранилища на микроклимат региона на базе созданного комплекса программ выполнена серия сравнительных численных экспериментов.

*Численные эксперименты.* Было проведено три серии расчетов, которые можно характеризовать как летние, осенние и зимние варианты условий фоновой атмосферы. Для каждого моделируемого сценария расчеты велись в течение двух суток модельного времени. Опытным путем установлено, что этого достаточно для получения установившегося режима. Результаты моделирования вторых суток модельного времени использовались для сравнения. Сравнялся суточный ход метеоэлементов в одинаковых условиях фоновой атмосферы для ситуации, когда водохранилище отсутствует и когда водохранилище заполнено до отметки 208 м. Для определения зоны влияния водохранилища и полыньи из результатов расчетов по вариантам, учитывающим наличие водохранилища, вычитались результаты параллельных расчетов по вариантам, где водохранилище не учитывалось.

Как уже говорилось, отметки высот рельефа были получены с электронной карты и привязаны к узлам прямоугольной сеточной области (140x140 узлов). Шаги горизонтальной сетки равны 2 км. Количество узлов по вертикали – 20 с неравномерным шагом: первые 10 узлов через 60 м, а далее 100 м, 150 м и 200 м.

Высота приземного слоя в экспериментах полагалась постоянной величиной и принималась равной 60 м. Шаг по времени – 60 с.

Для моделирования летних условий выбрана сутки, отвечающие самому длинному световому дню в году, т.е. 22 июня. Стратификация фоновой атмосферы предполагалась близкой к безразличной. Температура воды в реке полагалась равной 290 К и в течение дня не меняющейся, альbedo суши 0,25. Фоновый ветер равен нулю.

Для осенних условий были выбраны сутки, отвечающие 22 сентября. Стратификация фоновой атмосферы предполагалась слабоустойчивой. Температура воды в реке 283 К, альbedo 0,25. Для учета влияния фоновых переносов на верхней границе расчетной области задавался фоновый ветер.

Для моделирования зимних условий выбрана сутки, отвечающие самому короткому

световому дню, т.е. 22 декабря. Стратификация фоновой атмосферы предполагалась устойчивой. Температура воды в полынье 273 К, температура воздуха на поверхности 248 К, альbedo 0,75. Длина незамерзающей полыньи 45 км.

Сравнительный анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что появление водохранилища БогЭС на исследуемой территории окажет заметное влияние на формирование локальных циркуляций, зоны которого, по численным оценкам, будут простираться от водоема на расстояния, сравнимые с максимальной шириной самого водного объекта.

Результаты проведенных расчетов показывают, что в летнее время года влияние водохранилища преимущественно будет связано с охлаждающим воздействием больших масс воды на прибрежные районы (рис. 1).

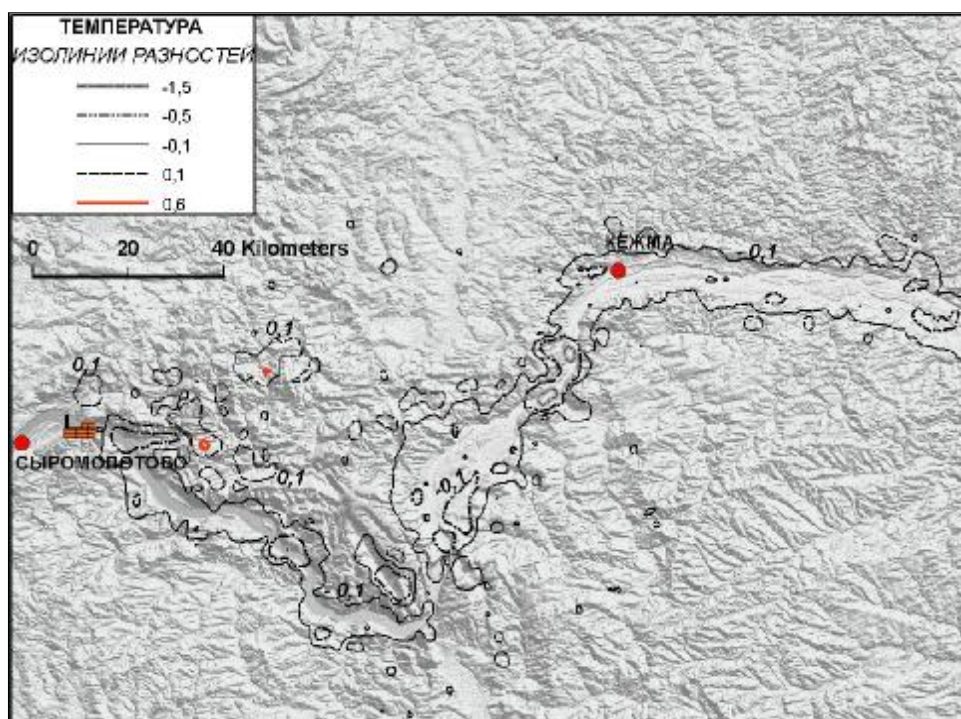


Рис. 1. Изолинии разностей температурных полей (градусы) на уровне приземного слоя.

Лето. Фоновый ветер равен нулю

Размеры зоны данного воздействия при заданных начальных параметрах в основном

составят до 3...6 км. Можно отметить и наличие локализованных положительных отклоне-

ний температуры на значительных удалениях от берегов, в основном над высокими формами рельефа. Это можно объяснить тем, что усиление бризовых циркуляций способствует выносу теплых приповерхностных масс воздуха вверх по склонам. Заметного увеличения влажности на прилегающих территориях в проведенных экспериментах не наблюдалось. В отсутствии фонового потока в численных расчетах отмечалось увеличение скорости ветра (на 0,2...0,5 м/с) практически вдоль всего побережья, с локальными максимумами порядка 1 м/с. Зона проникновения бризов оценивается величиной порядка 4...6 км от бере-

гов.

Осенний сезон, как показал анализ результатов расчетов, будет характеризоваться как отепляющим, так и охлаждающим воздействием водохранилища на окружающую территорию. Ранней осенью характер воздействия будет определяться временем суток: в ночное время водохранилище оказывает отепляющее воздействие на атмосферу близлежащей территории, днем уже охлаждающее (рис. 2), так как температура воды в это время суток ниже температуры прибрежной подстилающей поверхности, которая успевает прогреться.

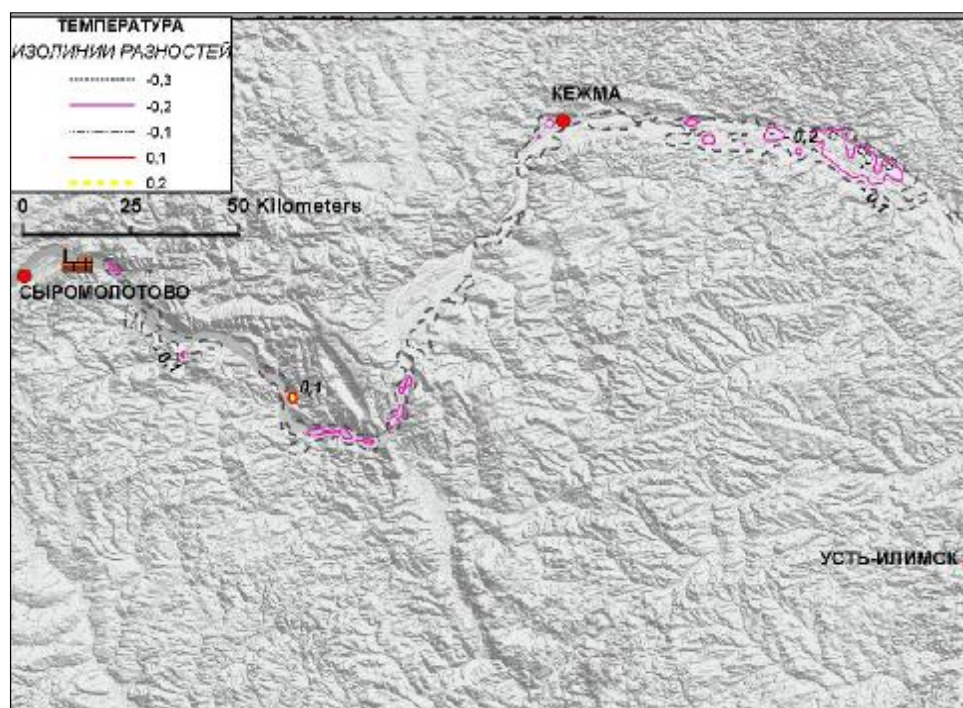


Рис. 2. Изолинии разностей температурных полей (градусы) на уровне приземного слоя. Осень. Западный фоновый ветер 1,5 м/с

При задании фонового ветра в численных экспериментах отклонения в полях метеоэлементов, вызванные воздействием водохранилища на микроклимат региона, сносились в направлении воздушного потока. При этом заметного увеличения зоны рассматриваемых влияний не наблюдалось. Незначительное по-

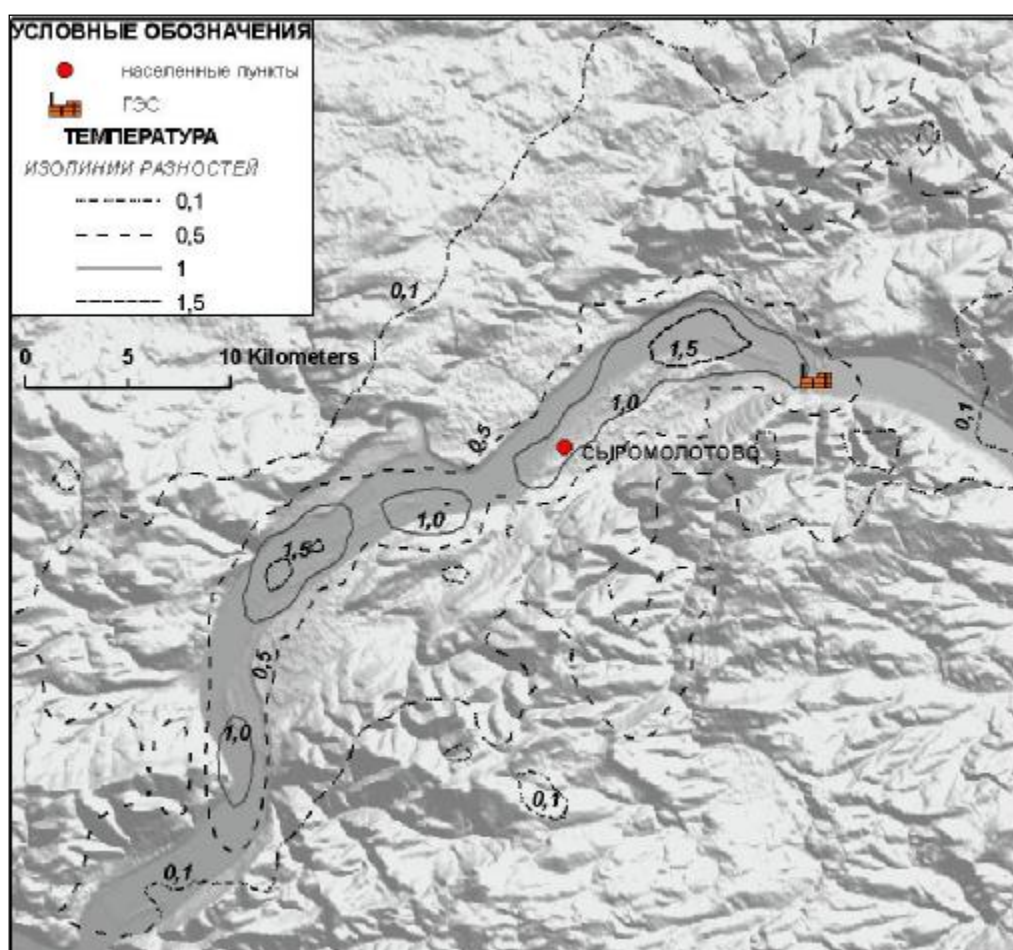
вышение влажности отмечено в основном над широкими участками водной глади за счет увеличения площади испарения и в прибрежной подветренной зоне.

Также над водохранилищем отмечалось усиление фонового набегающего потока, связанное с появлением дополнительной гладкой

открытой поверхности водохранилища. Однако увеличение скорости ветра относительно невелико и составляет не более 1 м/с. Это объясняется, в значительной мере, как высокими берегами, так и отсутствием протяженных открытых участков шириной в несколько десятков километров.

В зимнее время года незамерзающая полынья, образующаяся в нижнем бьефе плотины БГЭС, будет оказывать влияние на влажность и температурный режим прибреж-

ных территорий. Это в суровые зимы может приводить к некоторому снижению комфортности проживания в населенных пунктах, попадающих в зону указанных изменений. Высокие берега при отсутствии фонового ветра приводят к тому, что значительные изменения температуры и влажности, вызванные влиянием незамерзающей полыньи длиной 45 км, локализируются в основном в пределах 1...2 км от полыньи (рис. 3).



**Рис. 3.** Изолинии разностей температурных полей (градусы) на уровне приземного слоя.  
Зима. Фоновый ветер равен нулю

При задании в экспериментах фонового западного ветра 2 м/с увеличение относительной влажности в расчетах не превышало 15 % на подветренном берегу, достигая 20 % в районе ГЭС. Увеличение относительной влажно-

сти до 10 % на подветренной стороне от полыньи распространялось на 7...10 км по направлению ветра. Значимые изменения температурных полей распространяются до 15 км от полыньи. Изолиния повышения температуры

на 1 градус на высоте 60 м от поверхности ной стороны от полыни (рис. 4).  
проходит на расстоянии 2...4 км с подветрен-

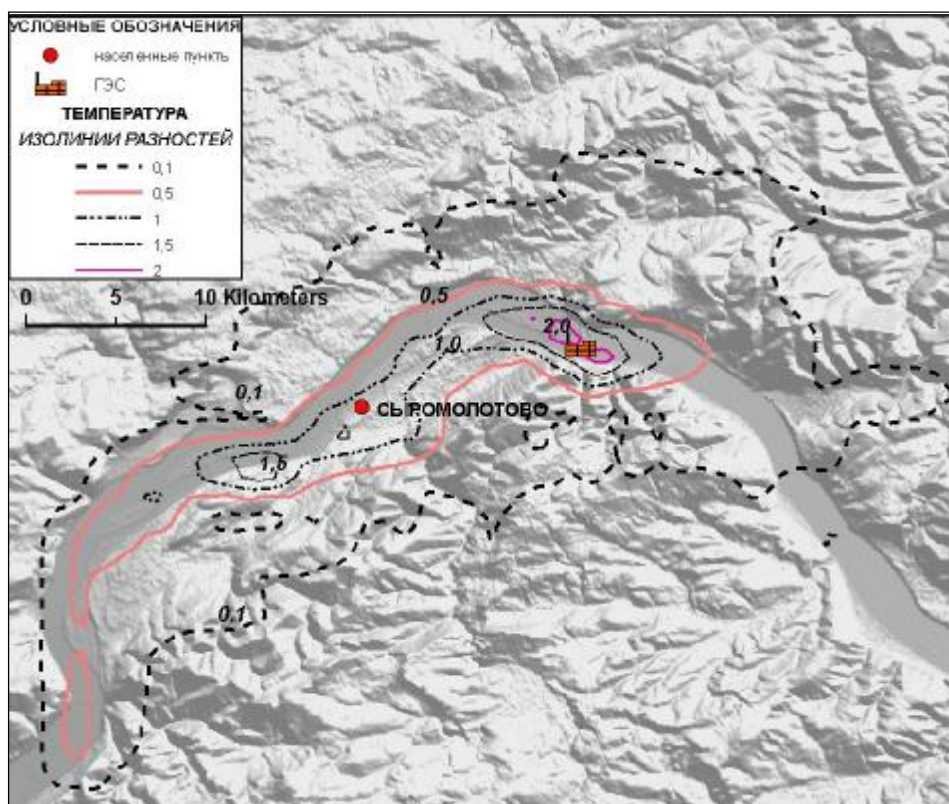


Рис. 4. Изолинии разностей температурных полей (градусы) на уровне приземного слоя. Зима. Западный фоновый ветер 2 м/с

В изменении структуры фонового ветра наблюдались следующие ситуации. Достаточно протяженная область открытой воды (полынья длиной 45 км) в зимних условиях способствует формированию бризовых циркуляций. Поэтому над полыньей и над наветренной примыкающей территорией фоновый ветер усиливался, а на подветренной стороне ослаблялся встречным бризовым потоком. При рассмотренном размере полыни наиболее существенные изменения микроклимата возможны в окрестности населенного пункта Сыромолотово. В этом районе следует ожидать увеличения числа дней с туманами в зимнее время.

Для проведения окончательного анализа результаты расчетов были нанесены с помощью средств ГИС на топографическую основу.

Это позволило наглядно прояснить причины некоторых особенностей распределения полей метеозлементов.

В целом, проведенные численные эксперименты характеризуют возможные изменения микроклимата как незначительные для территорий, удаленных от береговой линии на расстояние 10 км и более. Однако в прибрежной зоне влияние водохранилища, безусловно, будет весьма существенным. В зимний период это, прежде всего, касается районов, которые непосредственно примыкают к нижнему бьефу плотины (работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований СО РАН, Программы 16 Президиума РАН, Программы 3 Отделения математических наук РАН, контракта Европейской Комиссии № 013427, проекта РФНФ № 08-02-12101в, проекта РФФИ №07-05-00673).

1. Пьянова Э.А. Исследование трансформации воздушного потока над термически и орographically неоднородной подстилающей поверхностью / Э.А. Пьянова // Вычислительные технологии. 2005. – Том 10. – Ч. 2. – С. 106-111.
2. Пьянова Э.А. Исследование влияния искусственного водоема на температурные режимы прибрежных территорий / Э.А. Пьянова, Л.М. Фалейчик // Современные проблемы математического моделирования, серия «Математическое моделирование и современные информационные технологии». – Вып. 5. – Ростов н/Д.: Южный федеральный университет, 2007. – С. 239-247.
3. Пененко В.В. Методы численного моделирования атмосферных процессов / В.В. Пененко. – Л.: Гидрометеиздат, 1981.
4. Пененко В.В. Численные схемы для адвективно-диффузионных уравнений с использованием локальных сопряженных задач / В.В. Пененко. – Новосибирск: Препр. РАН. Сиб. Отд-ние ВЦ, 1993. – № 948. – С. 1-50.
5. Пененко В.В. Модели и методы для задач охраны окружающей среды / В.В. Пененко, А.Е. Алоян. – Новосибирск: Наука, 1985. – 256 с.
6. Алоян А.Е. Алгоритм численного решения мезометеорологических задач в случае криволинейной области / А.Е. Алоян, А.А. Фалейчик, Л.М. Фалейчик // В кн. Математические модели рационального природопользования. – Новосибирск: Наука, 1989. – С. 14-35.
7. Термический и ледовый режим Богучанской ГЭС при временной подпорной отметке 185 м. – СПб.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2002.
8. Справочник по климату СССР. Красноярский край: метеостанция Кежма.
9. Фалейчик Л.М. Использование ГИС-технологий в математическом моделировании природных процессов / Л.М. Фалейчик, А.А. Фалейчик, А.А. Малюженко // VI Всероссийская научно-практическая конференция «Кулагинские чтения» (материалы конференции). – Чита: ЧитГУ, 2006. – Ч. II. – С. 138-142.
10. Фалейчик Л.М. Использование ГИС-технологий для оценки зоны влияния искусственного водоема на микроклимат региона / Л.М. Фалейчик, А.А. Фалейчик, Э.А. Пьянова, А.А. Малюженко // VII Всероссийская научно-практическая конференция «Кулагинские чтения»: материалы конференции. – Чита: ЧитГУ, 2007. – Ч. V. – С. 48-53.

**Коротко об авторах**

**Briefly about authors**

*Фалейчик Л.М.*, научный сотрудник Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН (ИПРЭК СО РАН), доцент кафедры прикладной информатики и математики, Читинский государственный университет (ЧитГУ) служ. тел. (3022) 211729

*Научные интересы:* охрана окружающей среды, математическое моделирование, численные методы и эксперименты, природные ресурсы, географические информационные системы

*Пьянова Э.А.*, младший научный сотрудник Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН служ. тел. (3022) 211729

*Научные интересы:* охрана окружающей среды, математическое моделирование, численные методы и эксперименты, природные ресурсы, географические информационные системы

*Faleichik L.M.*, scientific associate, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch (INREC SB RAS), Assistant Professor of Applied Information Science and Mathematics, Chita State University

*Scientific interests:* environment protection, mathematical modeling, calculus of approximations and experiments, natural resources, GIS

*Pyanova E.A.*, junior researcher, Institute of Calculus Mathematics and Mathematical Geophysics, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch (ICMMG SB RAS)

*Scientific interests:* environment protection, mathematical modeling, calculus of approximations and experiments, natural resources, GIS