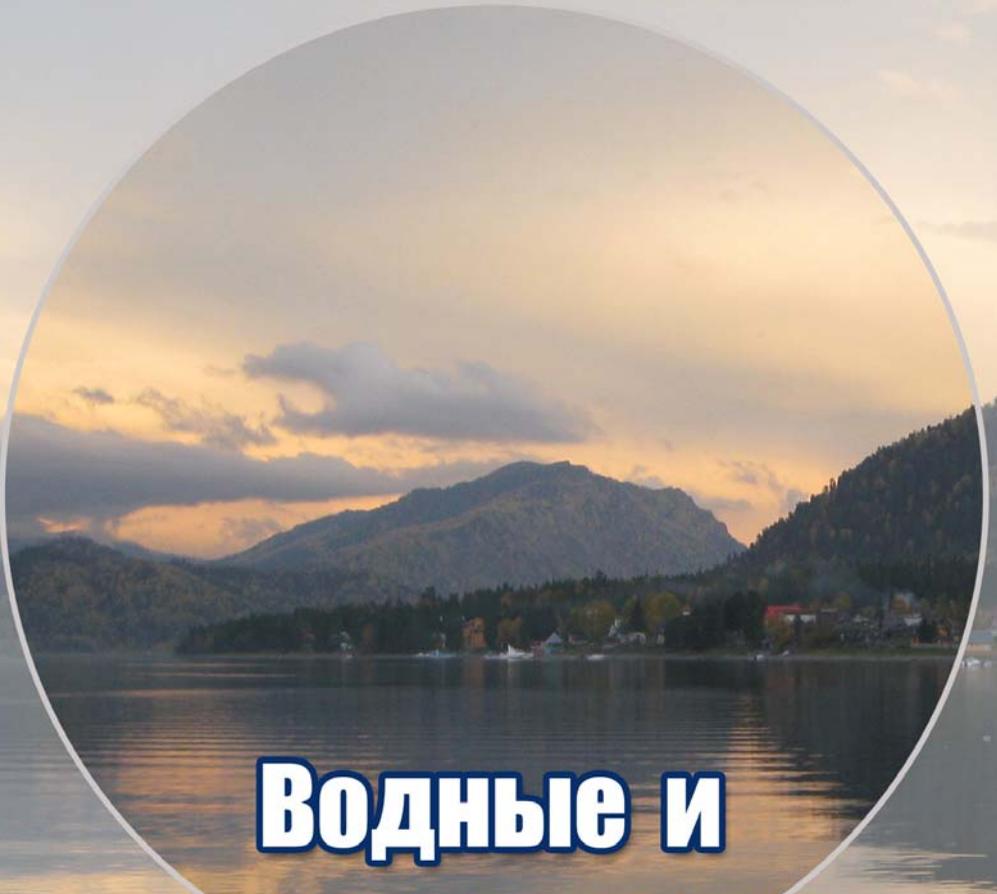


**Материалы Всероссийской научной конференции
с международным участием
20-24 августа 2012 г., Барнаул**



**Водные и
экологические
проблемы Сибири
и Центральной Азии**

Том I

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ
НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН «ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ СУШИ»
АССОЦИАЦИЯ АКАДЕМИЙ НАУК СТРАН АЗИИ (AASA)**

**ВОДНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
СИБИРИ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ**

(в трех томах)

Т. I

**Формирование водных ресурсов суши в условиях природных
и антропогенных воздействий**

Труды Всероссийской научной конференции с международным участием,
посвященной 25-летию юбилею Института водных и экологических
проблем СО РАН
(20-24 августа 2012 г., Барнаул)

Барнаул 2012

УДК 556.01 + 556.02

ББК 26.22

В

Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: труды Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 25-летию юбилею Института водных и экологических проблем СО РАН: в 3 т. – Барнаул, 2012. – Т. 1. - 180 с.

ISBN 978-5-904014-35-3

Рассматриваются результаты теоретических и прикладных гидрологических и гидрофизических исследований, связанных с проблемами формирования водных ресурсов суши в условиях климатических изменений и антропогенных воздействий. Приводятся данные математического моделирования исследуемых процессов и материалы экспериментального изучения водотоков, водоемов и водосборов.

Редакционная коллегия:

Васильев О.Ф., академик; Винокуров Ю.И., д.г.н.; Борисенко В.И.; Безматерных Д.М., к.б.н.; Болгов М.В., д.т.н.; Зиновьев А.Т., к.ф.-м.н.; Кириллов В.В., к.б.н.; Красноярова Б.А., д.г.н.; Папина Т.С., д.х.н.; Пестова Л.В., к.с.-х.н.; Пузанов А.В., д.б.н.; Рыбкина И.Д., к.г.н.

При подготовке материалов к публикации сохранен авторский стиль изложения с минимальными редакционными правками, в основном пунктуации и орфографии. Ответственность за содержание материалов несут авторы.

Печатается по решению оргкомитета конференции и при финансовой поддержке Федерального агентства водных ресурсов и гранта РФФИ № 12-05-06059-г.

ISBN 978-5-904014-35-3

© Институт водных и экологических
проблем СО РАН, 2012
© Коллектив авторов, 2012

О МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАССЕЯНИЯ ЧАСТИЦ В НЕОДНОРОДНОМ ТУРБУЛЕНТНОМ КОНВЕКТИВНОМ ГРАНИЧНОМ СЛОЕ

Т.А. Аверина,

*Институт вычислительной математики и математической геофизики
Сибирского отделения Российской академии наук*

ABOUT MATHEMATICAL MODEL OF PARTICLE'S DISPERSION IN A NON UNIFORM TURBULENT CONVECTIVE BOUNDARY LAYER

T.A. Averina

*Russian Academy of Sciences Mathematical Department Novosibirsk Scientific
Centre Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics
SB RAS, ata@osmf.sccc.ru*

Рассмотрена стохастическая Лагранжева модель переноса примеси в неоднородном турбулентном конвективном слое атмосферы. Проведены тестовые расчеты с целью изучения влияния размера частиц на их рассеяние в неоднородном турбулентном конвективном граничном слое атмосферы. Исследовались различные статистические особенности, такие как средняя высота частиц при разных высотах источника, средняя концентрация, концентрация частиц по размерам.

A stochastic Lagrangian model of motion of falling particles in a locally isotropic incompressible turbulent flow is implemented. A detailed description of the model in the case of convective boundary layer is given. A series of calculations are carried out to find different statistical characteristics (such as the mean center of the cloud, dispersion around the center, the mean concentration in a layer, etc.) for different particle's sizes.

Рассмотрим одномерный случай вертикального рассеяния с учетом сегментации в условиях стационарной и горизонтально-однородной турбулентности, когда отсутствует средний поток. Если $z(t)$ – высота, а $w(t)$ – вертикальная скорость частицы, то эволюция (w, z) описывается стохастическим дифференциальным уравнением в смысле Ито [1]:

$$dw(t) = a(z, w)dt + b(z, w)d\xi(t), \quad dz(t) = (w(t) - v_g)dt, \quad (1)$$

где $\xi(t)$ – стандартный винеровский процесс, v_g – скорость сегментации, определяемая из уравнения:

$$v_g = kR^2,$$

где $k = 3 \cdot 10^{-5}$, R – радиус частицы (от $1-50 \mu\text{m}$). Для простоты будем писать $R=0$, когда $v_g = 0$. Коэффициенты $a(z, w)$, $b(z, w)$ в уравнении (1)

определяются как в модели рассеяния в неоднородном конвективном граничном слое [1-2] (при $v_g = 0$):

$$a(z, w) = \frac{-\left(\frac{\overline{w^2}}{\tau}\right) Q + \varphi}{P_a}, \quad b(z, w) = \left(\frac{2\overline{w^2}}{\tau}\right)^{1/2}. \quad (2)$$

Гауссовская плотность вероятности P_a является асимметричной и построена из двух гауссовских распределений:

$$P_a(w, z) = A(z)P_A(w, z) + B(z)P_B(w, z),$$

где $A(z)$ и $B(z)$ – вероятности событий сноса вверх и сноса вниз:

$$P_A(w, z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_A} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{w-\overline{w}_A}{\sigma_A}\right)^2}, \quad P_B(w, z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_B} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{w+\overline{w}_B}{\sigma_B}\right)^2}$$

Полагается, что $\sigma_A = \overline{w}_A$, $\sigma_B = \overline{w}_B$, где $\sigma_A(\sigma_B)$ – стандартное уклонение скорости сноса вверх (вниз), $\overline{w}_A(\overline{w}_B)$ – среднее скорости сноса вверх (вниз):

$$\overline{w}_B = \left(\sqrt{(\overline{w^3})^2 + 8(\overline{w^2})^3} - \overline{w^3}\right) / 4\overline{w^2}, \quad \overline{w}_A = \overline{w^2} / 2\overline{w}_B,$$

$$A = \overline{w}_B / (\overline{w}_A + \overline{w}_B), \quad B = \overline{w}_A / (\overline{w}_A + \overline{w}_B)$$

Профили $\overline{w^2}(z)$ и $\overline{w^3}(z)$ берутся из эмпирических соотношений ($z \leq z_B = z_i / 100$):

$$\overline{w^2} / w_*^2 = 1.1 \left(\frac{z}{z_i}\right)^{2/3} \left(1 - \frac{z}{z_i}\right)^{2/3} \left(1 - \frac{4z/z_i - 0.3}{2 + |z/z_i - 0.3|^2}\right),$$

$$\overline{w^3} / w_*^3 = 0.8 \left(\overline{w^2} / w_*^2\right)^{3/2},$$

где w_* – конвективная скорость, $w_* = z_i (\overline{w\theta_0} g / T)^{1/3}$, z_i – высота граничного слоя ($z/L > 10_i$, L – длина Монина-Обухова). $\overline{w\theta_0}$ – тепловой поток поверхности).

Функция φ определяется из уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова для $P_a(w, z)$ с учетом условия хорошей перемешиваемости:

$$\begin{aligned} \varphi = & -\frac{1}{2} \left(A \frac{\partial \overline{w_A}}{\partial z} + \overline{w_A} \frac{\partial A}{\partial z} \right) \operatorname{erf} \left(\frac{w - \overline{w_A}}{\sqrt{2} \overline{w_A}} \right) + \overline{w_A} \left(A \frac{\partial \overline{w_A}}{\partial z} \left(\frac{w^2}{\overline{w_A}^2} + 1 \right) + \overline{w_A} \frac{\partial A}{\partial z} \right) P_A \\ & + \frac{1}{2} \left(B \frac{\partial \overline{w_B}}{\partial z} + \overline{w_B} \frac{\partial B}{\partial z} \right) \operatorname{erf} \left(\frac{w + \overline{w_B}}{\sqrt{2} \overline{w_B}} \right) + \overline{w_B} \left(B \frac{\partial \overline{w_B}}{\partial z} \left(\frac{w^2}{\overline{w_B}^2} + 1 \right) + \overline{w_B} \frac{\partial B}{\partial z} \right) P_B, \end{aligned}$$

где

$$\int_{f_1}^{f_2} e^{-x^2} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2} (\operatorname{erf}(f_2) - \operatorname{erf}(f_1)), \quad \operatorname{erf}(-f) = 1 - \operatorname{erf}(f),$$

$$\frac{\partial \overline{w_B}}{\partial z} = -\frac{1}{F} \left[\overline{w_B} \frac{\partial \overline{w^3}}{\partial z} + \frac{\partial \overline{w^2}}{\partial z} \left(\frac{\overline{w_B} F}{\overline{w^2}} - 3\overline{w^2} \right) \right],$$

$$\frac{\partial \overline{w_A}}{\partial z} = -\frac{1}{2\overline{w_B}} \frac{\partial \overline{w^2}}{\partial z} - \frac{\overline{w_A}}{\overline{w_B}} \frac{\partial \overline{w_B}}{\partial z},$$

$$\frac{\partial A}{\partial z} = \frac{1}{(\overline{w_A} + \overline{w_B})} \left[-A \frac{\partial \overline{w_A}}{\partial z} + B \frac{\partial \overline{w_B}}{\partial z} \right], \quad \frac{\partial B}{\partial z} = -\frac{\partial A}{\partial z},$$

где $F = 4\overline{w^2} \overline{w_B} + \overline{w^3}$.

Функция Q в (2) определяется как: $Q = \frac{A(w - \overline{w_A})}{(\overline{w_A})^2} P_A + \frac{B(w - \overline{w_B})}{(\overline{w_B})^2} P_B$.

Корректный выбор временной шкалы τ осуществляется при:

$$\tau = \left[1.5 - 1.2 \left(\frac{z}{z_i} \right)^{1/3} \right]^{-1} \frac{\overline{w^2} z_i}{w_*^2 w_*}$$

При численном решении (1) использовалась схема:

$$W_{n+1} = W_n + \frac{1}{P_{a_n}} [-\alpha_n Q_n + \varphi] h + (2\alpha_n h)^{1/2} \zeta,$$

$$Z_{n+1} = Z_n + (W_n - V_g) h, \quad Z_0 = Z_s,$$

где W_0 , – эйлерова скорость на высоте источника. Здесь:

$$W = w / w_*; \quad Z = z / z_i; \quad V_g = v_g / w_*; \quad \overline{W^2} = \overline{w^2} / w_*^2;$$

$$\alpha = 1.5 - 1.2(z / z_i)^{1/3}; \quad T = (1/\alpha)(\overline{w^2} / w_*^2)(t / \tau), \quad h = T_{n+1} - T_n,$$

где h – безразмерный временной шаг; ζ – стандартная нормальная случайная величина. При численных расчетах приведенной модели число выпускаемых частиц бралось $N = 15000$, вычисления проводились с шагом по времени $h = 0,01$ на интервале $[0,8]$. Исследовался вопрос влияния размера частиц на их рассеяние в неоднородном турбулентном конвективном граничном слое.

Вычисление средней высоты частиц осуществлялось по формуле:

$$EZ(T) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N Z^{(j)}(T),$$

где $Z^{(j)}(T)$ – высота j -й частицы в момент времени T . Как показали численные эксперименты, при размерах частиц $1-50 \mu m$, EZ мало отличается от средней высоты частиц в случае, когда их размер не учитывается ($R=0$). Наибольшее отличие наблюдается на начальных временах, когда частица, обладающая весом, начинает падать вниз.

Для вычисления концентрации частиц по размерам из мгновенного источника, расположенного на высоте Z_s (рассматривались случаи $Z_s = 0.067$, $Z_s = 0.24$, $Z_s = 0.49$) выпускалось $N=30000$ частиц (размерами $R=1,10,20,30,40,50 \mu m$ по 5000 частиц). Вычисление концентрации частиц радиуса R в фиксированный момент времени ($T=6$) осуществлялось по формуле:

$$C_R(Z) = \frac{m_R}{0.05N},$$

где m_R – число частиц радиуса R , попавших в слой $[Z-0,025, Z+0,025]$. Вычисление концентрации частиц радиуса R , попавших в слой $[0,01]$ на всем временном интервале $[0,8]$ осуществлялось по формуле:

$$C_R(T) = \frac{m_R}{0.1N},$$

где m_R – число частиц радиуса R , попавших в момент T в слой $[0,01]$.

Численные расчеты показали, что чем тяжелее частица, тем больше ее концентрация в нижнем слое и меньше - в верхнем.

Заметим, что у нас фактически есть малый параметр v_g – скорость выпадения осадка. Этот параметр был введен в модель для увеличения точности расчетов. В работе [3] также рассматривалась стохастическая лагранжева модель для переноса частиц в пограничном слое. Однако там проблема малого параметра v_g не рассматривается, так как авторы [3] рассматривают только случай $v_g = 0$.

Литература

1. Ashok K. Luhar, Rex E. Britter. A random walk model for dispersion in inhomogeneous turbulence in a convective boundary layer // Atmospheric Environment. – 1989. – V. 23. – № 9. – P. 1911-1924.
2. Boerentsen J. H., Berkowicz R. Monte Carlo simulation of plume dispersion in the convective boundary layer // Atmospheric Environment. – 1984. – 18. – P. 701-712.
3. Tassone C., Gryning S.E., Rotach M.W. A Random Walk Model for Atmospheric Dispersion in the Daytime Boundary Layer // Air Pollution Modeling and its Application. Ed. S.E. Gryning and M. Plenum. – New York and London, 1994.

ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННОГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПОГРАНИЧНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ СИБИРИ

В.В. Беликов¹, А.В. Глотко¹, И.В. Белоусова², А.С. Завадский³

¹ – ОАО «НИИЭС»,

² – ОАО «РОСЖИЛДОРПРОЕКТ» филиал «ГИПРОТРАНСПУТЬ»

³ – МГУ им. Ломоносова, Географический факультет

APPLICATION OF NUMERICAL HYDRODYNAMIC MODELING FOR SOLVING BORDER WATER OBJECTS IN SIBERIA

V. Belikov¹, A. Glotko¹, I. Belousova², A. Zavadsky³

¹ - JSC Scientific Research Institute of Power Structures (JSC NIIES),
annaglotko@mail.ru

² - JSC "Roszheldorproject" subsidiary "Giprotransput", Moscow
evdokisha@list.ru

³ - MSU, Faculty of Geography, Moscow E-mail: az200611@rambler.ru

Представлены результаты гидродинамического моделирования участка реки Амур и ее основного притока Зeya для оценки степени влияния строительства набережной на водный режим водотока. В качестве численной модели была использована программа «БОР Деформация», предназначенная для расчета течений и деформаций дна в реках в двумерной плановой постановке.

In article is dedicated to results of hydrodynamic modeling of the river Amur and Zeya for the assessment of the impact on the water regime of the construction of the embankment. For the simulation was used program «BorDeform». This program is designed for two-dimensional simulation of flows and deformation of the bottom.

Интенсивное преобразование водотоков в результате строительства набережных, портов, пляжей и др. гидротехнических сооружений приводит к тому, что в них происходят изменения в виде сложных процессов преобразования рельефа дна, которые трудно прогнозируются существующими методами расчета, используемыми при проектировании. Особенно остро стоит эта проблема в случае, когда водный объект является границей между областями, субъектами, странами (проблема пограничных территорий). В последние десятилетия интенсивно развиваются торговые отношения между Китайской Народной Республикой и Российской Федерацией, которые в свою очередь привели к значительным преобразованиям природного ландшафта и могут оказать влияние на водный режим водных объектов. Ярким примером такого преобразования является участок рек Амур и Зея, на берегу которых расположен г. Благовещенск. Реконструкция его набережной вызвала негативную реакцию и опасения руководства г. Хайхэ, находящегося на противоположном берегу. Основные возражения касаются того, что в результате строительства изменится русловой процесс, который окажет влияние на положение государственной границы и островов, принадлежащих китайской стороне. Кроме того, возникли опасения по поводу увеличения максимального уровня воды, что может привести к затоплению пойменных территорий, которые в настоящее время интенсивно осваиваются.

Для аргументации своей позиции в КНР были проведены исследования с использованием численного и физического моделирования в Институте водных ресурсов и гидроэнергетики Китая (China Institute of Water Resources and Hydro-power Research). Численное моделирование проводилось на двумерной численной модели, разработанной в КНР и апробированной на 90 объектах гидротехнического строительства. С российской стороны также были проведены исследования с привлечением нескольких научных институтов. Анализ русловых процессов производился сотрудниками Географического факультета МГУ им. Ломоносова и ОАО «НИИ Энергетических сооружений». Моделирование численным методом проводилось с помощью программы «БОР Деформация», которая предназначена для расчета течений и деформаций дна в реках в двумерной плановой постановке и была апробирована на десятках рек РФ. Некоторые результаты выполненных исследований представлены в настоящей работе.

Построение численной гидродинамической модели и ее калибровка. В качестве исходных данных для построения рельефа дна использовались результаты инженерно-гидрографической съемки участков русел рр. Амур и Зея протяженностью более 23 км (выполнена в июле 2011 г.), а также цифровая модель рельефа (далее ЦМР), полученная по стереопаре снимков (спутник WorldView-1, США, 22.09.2011 г., рис. 1). В качестве гидрологической информации для калибровочных расчетов использовались материалы инженерно-гидрологических изысканий 2007 и 2011 гг. а также

собранный и проанализированный информация, полученная с ближайших постов Росгидромета за весь период наблюдений. Следует отметить, что из-за сложной политической ситуации между странами систематические наблюдения за стоком воды в р. Амур прекратились в середине прошлого столетия и возобновились в 2009 году.

Возможно, отсутствием или недостатком натуральных данных объясняется тот факт, что в китайском отчете по моделированию, который был представлен для анализа российской стороне, не приведены результаты калибровки модели, подтверждающие достоверность последующих прогнозных расчетов. Кроме того, в отчете отсутствует информация о значениях коэффициентов шероховатости русел и пойм и гранулометрический состав грунта, принятых при моделировании. В районе Шандринской косы на рисунках китайского отчета по моделированию указана глубина 8-12 метров, что в принципе не возможно, т.к. на этом месте по старым картам присутствует отмель, которая по результатам инженерно-геологических изысканий сложена гравийно-галечниковыми отложениями, ниже которых располагаются неразмываемые грунты. В китайской модели не было учтено перекрытие правого рукава острова у г. Хайхе (в двух местах), которое оказывает значительное воздействие на гидравлический режим рассматриваемого участка. Выше перечисленные недостатки китайской модели были учтены при проведении аналогичных работ российской стороной.



Рис. 1. Цифровая модель рельефа участка моделирования

Используемая при численном моделировании расчетная сетка относится к комбинированному типу и состоит из четырехугольных и треугольных ячеек. Данная разновидность сетки позволяет учесть искусственные и естественные формы рельефа с наименьшей погрешностью интерполяции рельефа из ЦМР в расчетные точки. Схематизация модели проходит в несколько этапов.

На первом этапе расчетная область разбивается на несколько подобластей полигонами с переменным шагом точек по граням, при которой проводится выделение границ модели. В качестве «твердых» границ модели были приняты на территории РФ отметки земли, расположенные выше 1 % уровня затопления. Для назначения непротекаемых границ на территории КНР были использованы снимки из космоса, топографические материалы прошлых лет, анализ которых показал наличие в пойменной части системы дамб и насыпей, ограждающих от затоплений. Область моделирования была разбита на 58 полигонов.

На втором этапе производится построение ячеек внутри полигонов и объединение их в единую модель. На заключительном этапе производится «сглаживание» сетки методом численной минимизации функционала формы ячеек. Результатом является значительное улучшение качества разбиения, т.к. ячейки приближаются по форме к равносторонним.

Для калибровочных расчетов в качестве граничных условий на входе и выходе модели использовались данные натуральных наблюдений: для меженных условий – июль-август 2011 года, для паводковых условий – август 1984 года. Значения расходов и уровней приведены в таблице.

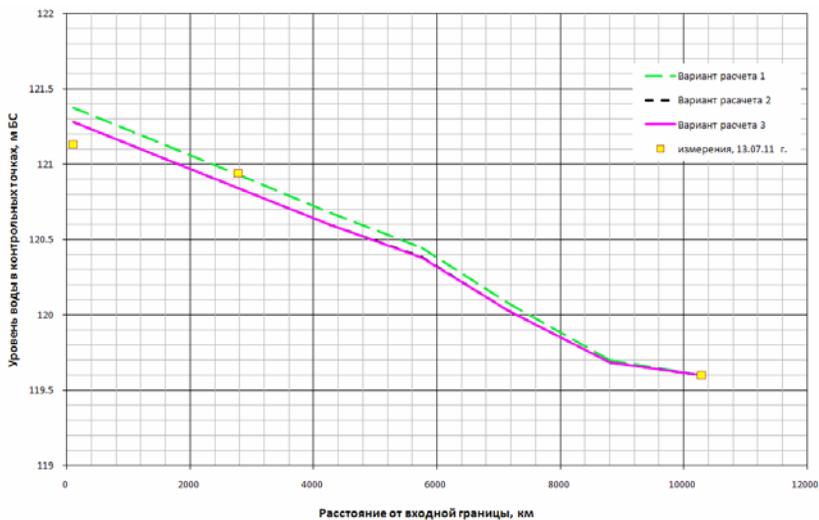
Таблица – Граничные параметры для проведения расчетов

Параметры модели Дата измерений	Расход воды р.Амур, м ³ /с (на входе модели)	Уровень воды р.Амур, м БС (на выходе модели)	Расход воды р.Зея, м БС (на входе модели)
15.08.1984 г.	16700	127,26	12800
13.07.2011 г.	1100	119,6	1700

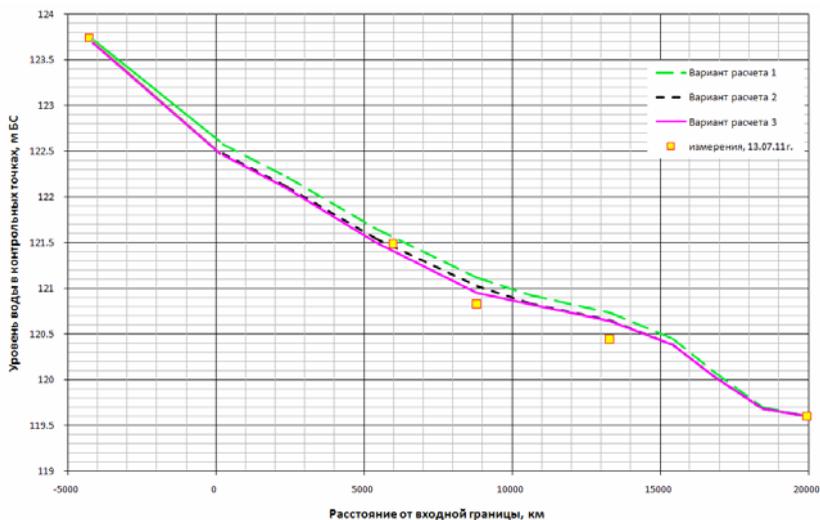
Для сопоставления с проведенными в КНР исследованиями была построена сетка в границах китайской модели с количеством ячеек 39889, минимальный размер которых составил 9 метров. В меженных условиях результаты моделирования показали хорошее совпадение (рис. 2 а-б), но при расчете на паводок 1984 года расчетный уровень в контрольных точках значительно превзошел наблюдаемый. Причиной является недоучет аккумулярующего влияния левобережной поймы р.Зея. В связи с этим расчетная сетка была увеличена, т.е. добавлены несколько полигонов на пойме, в результате количество ячеек возросло до 55175. Кроме того, было проведено зонирование по значению шероховатости модели, в котором были учтены русловые формы, примыкающие к берегам и имеющим более высокое значение коэффициента шероховатости при уменьшении глубины в русле.

После проведенных расчетов были приняты следующие значения шероховатостей: в русле рек Амур и Зея – 0,025, на участке в районе

набережной – 0,023, на пойменных урезных участках, в районе обширных
 побочной и на островах – 0,05.

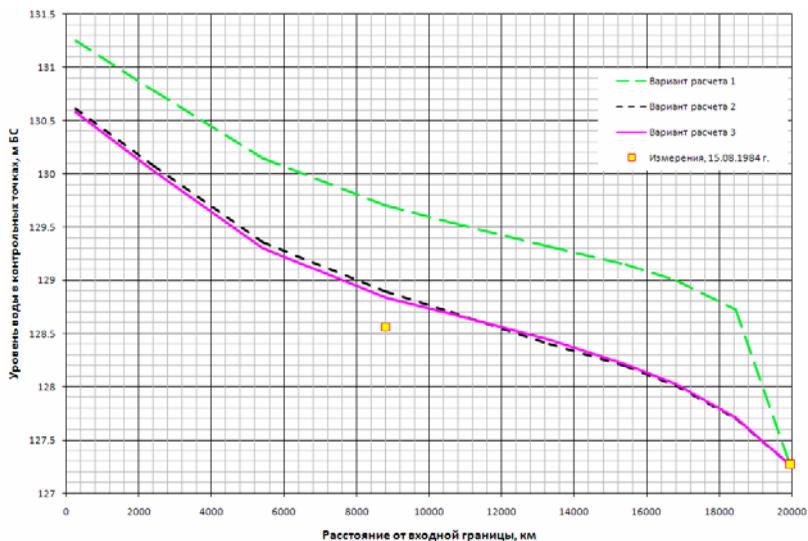


а

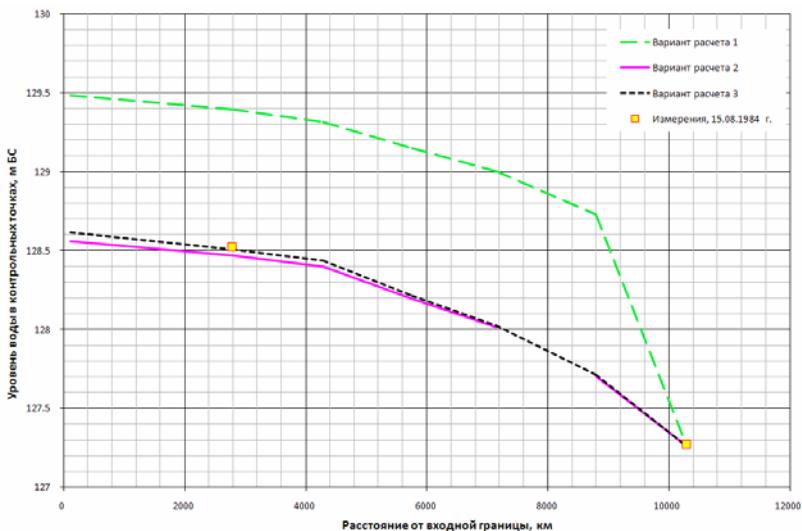


б

Рис. 2. Продольный профиль уровней воды в р.Амур (а) и р.Зея (б) по результатам калибровочных расчетов, 13.07.2011 г.



а



б

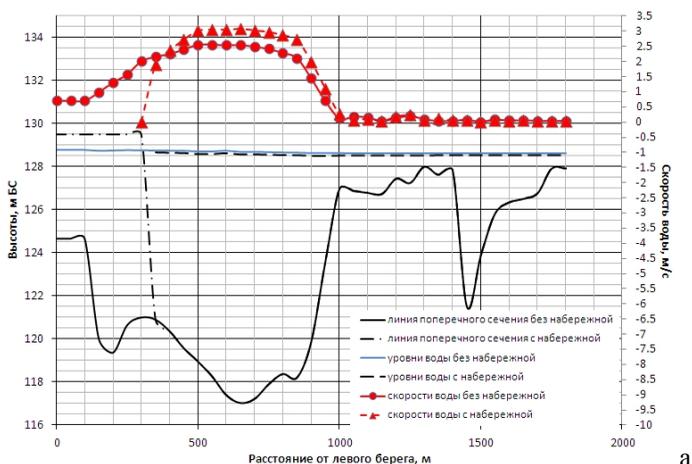
Рис. 3. Продольный профиль уровней воды в р.Амур (а) и р.Зея (б) по результатам калибровочных расчетов, 15.08.1984 г.

Результаты численного моделирования. Изучение влияния строительства набережной на гидравлический режим проводилось на основании данных измерений паводка 15.08.1984 года, который с учетом

изменения гидрологического режима узла слияния рек в результате строительства Зейского гидроузла принимается равным 1% обеспеченности. Результаты моделирования показали, что в случае строительства набережной произойдет локальное увеличение скоростей течения в районе набережной на величину до 0,5-0,7 м/с (рис.4а). До строительства набережной максимальные скорости течения в створе набережной составят 2,5 м/с, после строительства увеличатся до 3,15 м/с. Отмечается также локальное увеличение скоростей вдоль вертикальной стенки набережной. Результаты моделирования на китайской численной модели показали хорошее совпадение с российскими (рис. 4б), за исключением некоторых деталей, связанных с вышеперечисленными недостатками исходных данных (в частности, с учетом перекрытия правой протоки).

Уровни воды в р.Амур выше набережной после ее строительства возрастут на 4-6 см, а на участке сооружения и ниже по течению понизятся на 8-11 см (в дальнейшем в результате деформаций дна за период половодья отклонение уровней воды и скоростей течения от естественных уменьшится). Здесь следует отметить, что перекрытие правых рукавов р. Амур в районе островов на территории КНР, которые активно ведутся в настоящее время, оказывают, по нашим оценкам, более существенное влияние на гидравлический режим р. Амур, чем строительство набережной. Количественно это оценить не удалось, т.к. китайской стороной информация по данному участку не предоставлялась. Дополнительно была проанализирована опасность затопления территории КНР. Полученные результаты моделирования показали, что при высоких паводках затопление территории г. Хайхэ ожидать не следует.

Прогноз русловых деформаций численным методом проводился также для случая катастрофического паводка 1984 года, по которому продолжительность стояния максимальных уровней воды составила 10 суток. На это период было проведено моделирование деформаций дна для двух вариантов без набережной и с набережной. В качестве основного грунта был принят гравийно-галечниковый с песчаным заполнителем, который был подвергнут статистической обработке в соответствии с принятой методикой. Была также учтена неразмываемая поверхность (кромка глинистых отложений) в районе строительства, отметки которой были приняты по материалам инженерно-геологических изысканий.



а



б

Рис. 4. Эпюры скоростей течения воды в створе набережной по результатам моделирования, выполненного в ОАО «НИИЭС» (а) и Институте водных ресурсов и гидроэнергетики Китая (б)

Результаты моделирования с деформациями показали, что размывы и аккумуляция дна за расчетный период происходят преимущественно в пределах 0,5 м по глубине. Сопоставление результатов расчета русловых деформаций показало незначительное увеличение размыва в центре русла напротив набережной. На остальных участках расположение зон размыва и аккумуляции находится в тех же местах, что и при отсутствии набережной, т.е. на фоне общего смещения макрорусловых форм было отмечено локальное изменение в результате техногенного вмешательства. Строительство набережной немного ускоряет естественные тенденции русловых деформаций, которые протекают в реке Амур.

Расчеты показали, что существует тенденция (довольно слабо выраженная) к подмыву левого берега р. Амур ниже набережной, что не связано напрямую с ее строительством, а диктуется общей направленностью руслового процесса на этом участке, вызванного смещением максимальных скоростей в русле к левому берегу. В связи с этим возможно незначительное смещение положения государственной границы между Россией и Китаем (изменение динамической оси потока) в сторону левого берега, т.е. в сторону России. Усиление размыва берегов в пределах города Хайхэ и правобережных островов не произойдет, более того, расчетами установлено, что правобережные протоки будут медленно заноситься.

Следует отметить, что расчеты проводились при максимальных расходах и уровнях воды, при которых затопливается пойма, и часть энергии потока гасится за счет ее повышенной шероховатости. Наибольшим деформациям русло может подвергнуться при движении воды в бровках (т.е. до выхода на пойму). Получение информации по руслоформирующим расходам в настоящий момент времени затруднительно, т.к. систематические наблюдения за стоком воды были возобновлены только в 2009 г., а последние материалы наблюдений заканчиваются в середине прошлого века. Для уточнения гидрологической информации следует на ГП Благовещенск по рр. Амур и Зея провести ряд измерений расходов воды на разные фазы водного режима, чтобы построить зависимости расходов и уровней воды с учетом всех произошедших изменений, вызванных строительством со стороны Китая и России.

Выводы. Разработана и откалибрована численная гидродинамическая модель участка рек Амур и Зея в районе городов Благовещенск (Россия) и Хайхэ (КНР). Проведены расчеты высоких половодий, дан прогноз изменения уровней воды, скоростей течения и русловых деформаций в результате возведения набережной у г. Благовещенск. Выполнено сопоставление результатов расчетов с данными китайской стороны, выявлена их практическая идентичность. Показано, что строительство набережной незначительно и очень локально изменит гидрологический режим реки и не приведет к негативным последствиям на территории КНР.

ДИНАМИКА ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ В СУБЪЕКТАХ ФЕДЕРАЦИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Г.В. Белоненко, В.С. Салтыкова

Сибирский государственный университет путей сообщения

DYNAMICS OF WATER UTILIZATION AND TECHNOGENIC LOAD ON WATER RESOURCES IN THE WESTERN SIBERIA REGIONS

Dr. G.V. Belonenko, V.S. Saltycova

Siberian Transport University, bgv2603@yandex.ru

Рассмотрена динамика, тенденции и структура использования водных ресурсов в субъектах Федерации Западной Сибири за 1990-2009 гг. Выполнена оценка техногенной нагрузки на водные ресурсы.

Dynamics, tendencies and the structure of water utilization in the Western Siberia regions annually, from 1990 till 2010 are considered in this thesis. The estimation of the technogenic load on water resources is fullfield and presented there.

Планирование использования водных ресурсов страны, региона или речного бассейна всегда основывается на прогнозе водопотребления и техногенной нагрузки на тот или иной расчетный уровень. Сам же прогноз может быть выполнен либо на основе плановых показателей развития хозяйства, либо путем экстраполяции показателей водопользования и техногенной нагрузки по ретроспективным (за прошлый период или годы) материалам.

В наших исследованиях была поставлена цель оценить временную динамику и определить вероятностные значения показателей использования водных ресурсов в субъектах Федерации Западной Сибири на основе ретроспективных материалов государственной статистической отчетности. Достижение поставленной цели потребовало исследовать временную динамику основных характеристик водопользования и показателей техногенной нагрузки в исследуемом регионе в целом и в разрезе субъектов Федерации.

Водные ресурсы субъектов Федерации региона формируются как за счет местных, так и транзитных вод. Доля каждой из них в суммарных водных ресурсах в субъектах Федерации существенно различается. С точки зрения хозяйственной доступности особое значение имеют ресурсы местного стока, сформированные непосредственно на территории того или иного субъекта Федерации. Наименьшие возможности в этом отношении имеют Курганская, Омская и Новосибирская область, а также и

левобережные районы Алтайского края как в средний, так и в маловодный годы.

В рамках настоящей публикации ограничимся лишь анализом динамики водопользования за 2000-2009 гг. Объемы забора воды из природных источников в регионе за эти годы сократились на 1,3 км³ и имеют устойчивую тенденцию к дальнейшему сокращению, в среднем на 200 млн м³/год. При этом использование свежей воды на хозяйственно-питьевые нужды ежегодно сокращается, в среднем на 78,5 млн. м³/год. Использование свежей воды на орошение, обводнение и сельскохозяйственное водоснабжение за анализируемый период сократилось в 2,2 раза и продолжает снижаться. В названных тенденциях снижения объемов водопотребления прослеживается очевидная их связь с аналогичными временными трендами показателей хозяйственного развития.

Серьезной проблемой использования водных ресурсов в регионе являются потери воды при транспортировке, в среднем составляющие около 500 млн. м³/год. При этом в наиболее дефицитных по обеспеченности водными ресурсами Курганской, Челябинской и Омской областях, потери составляют 14,9; 12,6 и 9,4 %, соответственно (при средних потерях по региону – 5,1 %).

Важной характеристикой рационального использования водных ресурсов является повторное и последовательное использование воды. В целом по региону в анализируемый период объёмы такого использования составляли от 40,0 до 43,0 км³. Отношение объема оборотного и повторного водопотребления к валовому водопотреблению на производственные нужды максимально в Свердловской области (95,8%), и минимально – в Томской (64,7%).

Известно, что техногенная нагрузка на водные ресурсы связана с сосредоточенным или диффузным поступлением в водные объекты загрязненных сточных вод, размещением отходов, а также эмиссией загрязняющих веществ от выбросов в атмосферу стационарными и передвижными источниками. Дифференцированная оценка влияния каждого из перечисленных факторов представляет важную научную и практическую задачу, требующую организации комплексного мониторинга и последующего анализа и обобщения. В данной работе предпринята попытка оценки техногенной нагрузки на основе стандартных статистических данных.

Сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты в анализируемый период оставался в пределах 2,8-2,9 км³/год с незначительным приращением от года к году (0,2 %). Существенно снижались объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников – в среднем на 200 тыс. т/год. Предприятия региона создают огромные массы отходов производства и потребления, которые в 2009 году составили около 2,0 млрд. т. В среднем на 1 км² территории приходится более 700 т отходов. В Кемеровской и Челябинской

областях 18,4 и 0,8 тыс. т/км², соответственно. Из общей массы отходов используется и обезвреживается по региону в целом около 50% отходов.

Таким образом, анализ динамики водопользования и техногенной нагрузки на водные ресурсы в субъектах федерации и регионе в целом свидетельствует о том, что и в минувшее десятилетие устойчивого улучшения водно-экологических параметров водопользования и снижения техногенной нагрузки на речные бассейны не произошло.

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПРОГНОЗ УРОВНЯ ОЗЕРА ЧАНЫ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

М.В. Болгов¹, Е.А. Коробкина², О.В. Кондакова²

¹ – ИВП РАН, Москва,

bolgovmv@mail.ru

*² – ИВЭП СО РАН, Новосибирский филиал, Новосибирск,
elenakorobkina@mail.ru, olgak81@yandex.ru*

FORECASTING WATER LEVEL FOR LAKE CHANY FOR DIFFERENT WATER USE CONDITION IN THE WATERSHED

M.V. Bolgov¹, E.A. Korobkina², O.V. Kondakova²

¹ – WPI RAS, Moscow,

bolgovmv@mail.ru

*² – IWEP SB RAS, Novosibirsk Department, Novosibirsk,
elenakorobkina@mail.ru, olgak81@yandex.ru*

Прогноз уровня озера Чаны предложено выполнить с использованием имитационной балансовой модели гидрологического режима водоема. На основе марковской модели случайных процессов выполнено стохастическое моделирование колебаний стока рек и других гидрометеорологических характеристик, определяющих водный баланс озера Чаны и его гидрологический режим в целом. Вероятностный прогноз уровней озера для различных сценариев развития водопользования на водосборе, в том числе с учетом возможности регулирования уровня озера существующими гидротехническими сооружениями, основывается на расчетах водохозяйственного баланса водоема по продолжительным рядам компонент его водного баланса.

The simulation model of lake water budget for forecasting water level for Lake Chany is proposed to use. On the base of the stochastic model of the Markov process the modeling of the river inflows and other water budget components of Lake Chany has

been carried out. Probabilistic lake water level forecast for different scenarios of development of water use in the watershed is given using long synthetic time series of the lake water budget components. Also the possibility of operating lake level with present hydraulic facilities has been considered in the model.

Особенности гидрологии озера Чаны и подходы к управлению его водным режимом. Задача поиска оптимальных решений при управлении водохозяйственными системами в зоне недостаточного увлажнения требует надежных сведений о характере колебаний водности рек и уровня водоемов. Интересным примером является бассейн озера Чаны, принимающего сток рек, который характеризуется значительной автокорреляцией и большой амплитудой многолетних колебаний, что приводит, в свою очередь, к возникновению квазициклических колебаний его уровня воды. Поскольку озеро является важным источником биоресурсов в регионе, то задача управления его водным режимом, обеспечивающего, как минимум, стабильность колебаний уровня и солености, является актуальной для развития водохозяйственного комплекса.

Бессточное оз. Чаны является самым большим по площади естественным водоемом Западной Сибири. Площадь водосборного бассейна озера равна 27 340 км², акватория озера в среднем составляет около 1500 км², глубины на разных участках колеблются от 1,5 до 8,5 м [1]. Размеры озера Чаны не постоянны и меняются в зависимости от колебаний климатических факторов и внутривековых циклов увлажненности, а также реализации различных мероприятий в результате хозяйственного освоения прилегающей территории.

За последние 100 лет к проблеме регулирования уровня озера Чаны обращались неоднократно при наступлении фазы естественного понижения уровня воды в целях сохранения рыбохозяйственного значения озера. Еще в 1939 году ученый В.А. Мичков предлагал регулировать уровень в озере Малые Чаны с помощью дамбы и шлюза на протоке Кожурла, соединяющей озеро Малые Чаны и Чиняихинский плес озера Большие Чаны [2]. После сильного и затяжного маловодья 50-х годов прошлого века возникла идея отчленения от основной части озера западного Юдинского плеса с целью сокращения объема испарения, и обеспечения, тем самым, роста уровня основной части озера Чаны. Кроме этого рассматривались и другие варианты управления водным режимом озера, направленные на стабилизацию его уровня такие, как переброска стока из соседних водосборов (пополнение озера водами реки Омь, забор части стока из реки Обь) или сброс в другие замкнутые понижения излишков вод в многоводные годы. Запсибгипроводхоз разрабатывал ряд проектов обводнения озера Чаны стоком р. Оби. Рассматривался вариант переброски воды из Новосибирского водохранилища, включающий схему увеличения водности реки Карасук. В проекте обводнения и орошения Кулундинской степи из водохранилища Каменской ГЭС на р. Оби, предлагавшемся В.А.Мичковым, предполагалось

сооружение трех магистральных каналов, в том числе Северного к оз. Малые Чаны в районе с. Горносталиха [3].

В настоящее время из предлагавшихся ранее проектов реализован только один, связанный с отсечением Юдинского плеса с помощью системы дамб. В 1971 году десятью земляными дамбами между островами Юдинский плес был отделен от основной части озера. Еще три дамбы дополнительно перекрывают (отсекают) заливы и мелководья, не связанные с Юдинским плесом. Общая протяжённость земляных дамб составляет около 15 км. Между дамбами проложена соединительная грунтовая дорога. Проектная отметка гребня дамб составляет 108,60 м БС; ширина гребня дамбы – 8 м. Предусматривалось, что в результате реализации данного проекта произойдет наполнение восточной части озера до отметки 107 м, при которой озеро будет находиться в пределах естественных берегов, а существующие дамбы позволят избежать подтопления сельхозугодий. С этой же целью были обвалованы пониженные берега озера Малые Чаны, Чиняихинского и Тагано-Казанцевского плёсов озера Большие Чаны. Для поддержания уровня озера на проектной отметке 107,0 м БС в 1974 году был построен водосброс (шлюз-регулятор), с помощью которого излишки воды из озера должны сбрасываться в Юдинский плес [4]. Строительство дамбы способствовало сохранению биоресурсов озера и некоторой стабилизации его уровня на более высоких отметках. Уровень озера в целом рос с отметки 105,65 в 1971 г. до 106,39 м БС в 2010 г.

Использование водных ресурсов озера Чаны. Территория водосборного бассейна озера Чаны административно принадлежит 10 районам Новосибирской области. Наибольшую площадь в пределах водосборной территории озера занимают районы Здвинский, Каргатский и Чулымский, значительная доля принадлежит Купинскому, Барабинскому, Доволенскому и Коченевскому районам. Чановский и Чистоозерный районы занимают небольшую площадь водосбора, непосредственно прилегающую к озеру. Небольшая часть Убинского района расположена на водосборной территории реки Каргат. Водопользование на самом озере осуществляется в рамках водохозяйственной политики пяти административных районов – Чистоозерного, Чановского, Барабинского, Купинского и Здвинского.

Водные ресурсы на территории водосбора используются, в основном, для хозяйственно-питьевого водоснабжения, для водоснабжения промышленных предприятий и животноводческих ферм. Сельскохозяйственное направление специализируется на производстве зерна и мясомолочной продукции. Регион находится в зоне рискованного земледелия, где нередки засухи, но программа развития орошаемого земледелия только начинает восстанавливаться в последние годы. Интенсивность использования водных ресурсов зависит от численности населения, его плотности и принадлежности его к категории сельского или городского населения. В настоящее время более половины населения в

регионе проживает в сельской местности. По данным статистической отчетности с 2005 по 2010 год численность населения на изучаемой территории сократилась в среднем на 11% вследствие превышения смертности над рождаемостью и естественной миграции населения [5], что повлекло за собой сокращение объемов промышленного и сельскохозяйственного производства. Плотность населения колеблется по районам от 1 до 9 чел/км². Самая низкая – на территории Чистоозерного района, примыкающего к практически высохшему Юдинскому плесу, самая высокая – на территории Коченевского района, который расположен в достаточной близости от г. Новосибирска.

Оценка объемов водопотребления и сброса сточных вод на водосборе озера при существующем уровне развития экономики в регионе выполнена с использованием составленной в ИВЭП СО РАН карты зонирования водосборной территории по степени антропогенной нагрузки на водные объекты, на которой в том числе отображены показатели водопользования [6-7]. Объем водопотребления на водосборе, оцененный по карте составляет от 6 до 10 млн. м³, из которых доля поверхностных вод составляет около 1 млн. м³ в год. Это менее 1% от среднего годового объема притока в озеро. Сброс сточных вод в поверхностные водные объекты оценивается в размере до 3 млн. м³ в год.

При разработке комплексных программ развития районов на 2011-2025 годы учитывались несколько сценариев развития в зависимости от направленности изменения демографической ситуации в регионе. В качестве базовых сценариев развития водопользования в бассейне оз. Чаны нами рассматривались варианты интенсивного развития экономики, базирующиеся на прогнозе прироста населения, повышения уровня его жизни, увеличения объемов промышленного и сельскохозяйственного производства с использованием эффективных технологий выращивания зерна и овощей, в том числе орошения.

Основным источником водоснабжения в регионе являются подземные воды. Однако интенсивное их использование может привести к падению уровня грунтовых вод и к ущербу стоку рек Каргат и Чулым – основных источников питания озера Чаны.

Имитационное моделирование водохозяйственной системы бассейна оз. Чаны. Возможности управления урвненным режимом оз. Чаны изучаются в работе на основе имитационной модели формирования его водного баланса и имеющихся сведений о технических характеристиках регулирующих сооружений с учетом различных сценариев развития водопользования на водосборе.

Стохастическая модель колебаний уровня озера основана на решении уравнения водного баланса с использованием искусственных реализаций основных компонент водного баланса (притока, осадков и испарения). Методика вероятностного прогноза урвненного режима озера, полученная

ранее [8], модифицирована с учетом различных сценариев безвозвратного водопотребления на водосборе озера, в которых учитывались существующий и перспективный уровень водопотребления в регионе и регулирование уровня воды в озере с помощью имеющихся в настоящее время на озере гидротехнических сооружений, в частности с помощью расположенного на полуострове Сарганов водосброса.

Перепад уровней воды в озере Чаны и в Юдинском плесе в настоящее время настолько значителен (плес практически высох), что при переливе через гребень дамбы или при сбросе воды через водосброс (при достижении отметки 107 м БС и выше в озере) расход воды зависит будет не от уровня воды в нижнем бьефе (Юдинском плесе), а только от уровня воды самого озера и технических характеристик водопропускных сооружений. В научно-технической литературе отсутствуют достоверные сведения о технических параметрах, регулирующих гидротехнических сооружений на озере, которые необходимы для оценки расхода воды из озера при возможном регулировании его уровня. Однако некоторые общие предположения позволяют применить для расчета расхода воды из озера формулу для неподтопленного водослива с широким порогом. Водослив становится подтопленным при превышении уровня воды в Юдинском плесе отметки порога водослива.

При оценке расхода через существующие водосбросные сооружения типа шлюза-регулятора полагаем, что его затворы будут всегда открытыми полностью. При превышении отметки порога водослива вода начинает переливаться через него. По результатам выполненного авторами обследования установлено, что шлюз-регулятор имеет 8 водосбросных отверстий (труб прямоугольного сечения шириной 2,5 м, высотой 3,5 м), разделенных между собой бетонными разделителями (быками) с оголовками прямоугольной формы шириной 0,5 м. Полный расход через сооружение равен сумме расходов через все водосбросные отверстия. Для неподтопленного водослива расход через одно отверстие водосброса оценивается по формуле [9-10]:

$$Q = mb\sqrt{2g} H_0^{3/2}, \quad (1)$$

для подтопленного водослива

$$Q = \varphi bh_n \sqrt{2g(H_0 - h_n)} \quad \text{или} \quad Q = m\sigma_n b \sqrt{2g} H_0^{3/2}, \quad (2)$$

где m – коэффициент расхода воды через водослив, b – ширина водослива (длина водосливного фронта), $H_0 = H + V_0^2 / 2g$ – напор на водосливе с учетом скорости подхода V_0 , которой можно пренебречь и считать H_0 равным геометрическому напору H ; σ_n – коэффициент подтопления, зависящий от h_n / H , числовые значения которого определяются по таблицам; h_n – глубина подтопления. Безразмерный

коэффициент расхода m зависит от типа водослива и условий его работы. Для дальнейших расчетов приняты следующие параметры: ширина водослива $b = 2,5$ м, $\varphi = 0,92$, $m = 0,35$.

Стохастическое моделирование случайных последовательностей притока, осадков и испарения выполнено на основе марковской модели, для чего задавался двумерный закон распределения (двумерная плотность) случайных величин, имеющих в качестве априорной плотности логарифмическое распределение Пирсона III типа (ЛРП):

$$f(x; \alpha, b, m) = \frac{|\alpha|}{\Gamma(b)x} [\alpha(\ln x - m)]^{b-1} \exp[-\alpha(\ln x - m)], \quad (3)$$

где α, b, m – параметры, $b > 0$, Γ – гамма-функция. Логарифмическое распределение Пирсона III типа и широко используемое в отечественной гидрологии трехпараметрическое распределение С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля одинаково согласуются с натурными данными суммарного значения притока рек Чулым и Каргат к озеру Чаны [11]. При проведении модельных имитационных экспериментов удобнее использовать ЛРП как модель с существенно более простой структурой. При этом создаются более экономные вычислительные алгоритмы.

Метод задания двумерной плотности в виде билинейного разложения в ряд по системе ортогональных полиномов с использованием их явного представления через моменты весовой функции, предложенный И. О. Сармановым [12], дает возможность получить плотность, которая удовлетворяет уравнению Маркова и характеризуется линейным уравнением регрессии. В данном случае в качестве весовой функции берется плотность логарифмического распределения Пирсона III типа и рассматривается симметричный случай. Тогда двумерная плотность имеет вид:

$$p(x, y) = p_1(x)p_2(y) \cdot \left[1 + \sum_{k=1}^{\infty} R^k P_k(x)P_k(y) \right], \quad (4)$$

где $p_1(x)$ и $p_2(y)$ – плотность ЛРП, определяемая по формуле (3), $P_k(x)$ и $P_k(y)$ – ортонормированные полиномы, R – коэффициент корреляции между случайными величинами x и y . В результате применения метода ортогонализации Грама-Шмидта, ортонормированные полиномы $P_n(x)$ определяются через моменты весовой функции в виде плотности ЛРП по соответствующим формулам [13]. С помощью условного закона распределения, записанного в интегральной форме:

$$F(y/x) = \int_0^y p_2(y) \cdot \left[1 + \sum_{k=1}^{\infty} R^k P_k(x)P_k(y) \right] dy \quad (5)$$

моделировались искусственные случайные временные последовательности основных компонент водного баланса длиной 10000 членов и с заданными свойствами (марковость процесса и параметры безусловных распределений). Изменения уровненного режима озера определялись далее на основании уравнения водного баланса озера.

Результаты водохозяйственного расчета. Располагая морфометрическими характеристиками озера Чаны и Юдинского плеса, продолжительными (10 000 лет) рядами речного стока, осадков и испарения с поверхности озера можно провести расчеты наполнения и сработки озера за длительный период с учетом функционирования водосбросных сооружений. Было выполнено шесть вариантов расчета как работы гидротехнических сооружений, так и водохозяйственной деятельности на водосборе, в том числе и с учетом возможной переброски стока из-за границ бассейна озера. Результаты прогнозных расчетов уровня озера, выполненных для начального уровня в озере 106,5 м БС, представлены на рисунке 1.

Таблица – Сценарии водопользования на водосборе озера Чаны для прогноза его уровня

№	Основные параметры, характеризующие сценарии водопользования
1	Отметка порога водослива 107,0 м БС
2	Отметка порога водослива 106,5 м БС
3	Норма стока (притока) понижена на 5%, т.е. ежегодные безвозвратные изъятия составят 5% от нормы
4	Норма стока (притока) понижена на 10%, т.е. ежегодные безвозвратные изъятия составят 10% от нормы
5	Переброска стока из других бассейнов в объеме 5 м ³ /сек в зависимости от уровня воды в озере. Переброска «включается» если уровень воды в озере на начало года менее 107,0 м БС.
6	Переброска стока из других бассейнов в объеме 10 м ³ /сек в зависимости от уровня воды в озере. Переброска «включается» если уровень воды в озере на начало года менее 107,0 м БС.

Ранее были получены функции распределения уровней воды в озере Чаны после отсечения Юдинского плеса, но без учета возможных сбросов через шлюз-регулятор [8]. В данной работе модель модифицирована с учетом новых данных о пропускной способности гидросооружений, и получены следующие результаты.

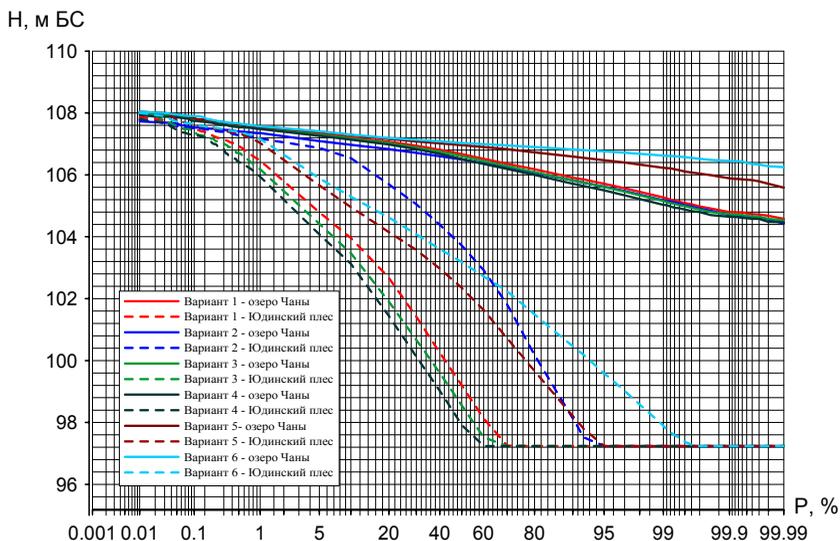


Рис. Кривые обеспеченности уровня озера Чаны и Юдинского плеса для различных сценариев водопользования (по моделированным рядам)

1. Учет сбросов воды в Юдинский плес через шлюз-регулятор приводит к заметному снижению среднегодовых уровней воды оз. Чаны в диапазоне малых (2-3 % и менее) обеспеченностей (рис.).

2. Говорить о том, что уровень озера стабилизируется в каком-то узком интервале в результате эксплуатации этого ГТС, не приходится.

3. Колебания уровня воды в Юдинском плесе претерпят существенные изменения. Большую часть времени он будет оставаться в высохшем состоянии, и лишь при наполнении оз. Чаны до высоких отметок Юдинский плес будет заполняться водой, т.е. при наступлении цикла повышенной водности. С малой вероятностью возможно выравнивание уровней в оз. Чаны и Юдинском плесе. Дисперсия колебаний уровня в Юдинском плесе будет существенно больше, чем в оз. Чаны.

4. Для стабилизации уровенного режима озера необходимо рассматривать варианты переборки стока из других бассейнов, а также реконструировать существующие гидротехнические сооружения.

Заключение. Режим эксплуатации шлюза-регулятора в настоящее время не установлен, геометрические размеры дамб (отметки гребня), через которые в ряде случаев возможен перелив, неизвестны с необходимой для расчетов точностью. Для решения задачи эффективного управления водным режимом озера, обеспечивающего стабильность колебаний уровня, при котором возможно максимальное воспроизводство биоресурсов, необходимо выполнить комплекс полевых работ по обследованию сооружений, оценив их

техническое состояние, а также уточнить приходные и расходные компоненты водного баланса озера.

Авторы выражают признательность академику О.Ф. Васильеву и д.г.н. В.М. Савкину за полезные рекомендации при обсуждении данного вопроса, а также К.В. Марусину за помощь в организации и проведении экспедиционных исследований.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 12-05-00212 «Изучение многолетних и сезонных колебаний уровня бессточного озера Чаны и разработка методов анализа и прогноза этих процессов».

Литература

1. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Новосибирское водохранилище и озера бассейна Средней Оби. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 156 с.
2. Понько В.А. Водохозяйственный очерк озера Чаны // Экология озера Чаны. – Новосибирск: Наука. Сиб. отдел., 1986. – С. 11-28.
3. Мичков В. А. Каменская ГЭС на Оби и орошение Кулунды. – Новосибирск: СО АН СССР, 1964. – 60 с.
4. Понько В.А. Проблемы гидротехнической мелиорации озер Западно-Сибирской лесостепи // Охрана и преобразование природы лесостепи Западной Сибири. – Новосибирск: Наука. Сиб. отдел., 1976. – С. 71-77.
5. Новосибирская область в цифрах. 2005-2010: стат.сб. // Территориальный орган ФСГС по Новосибирской области. – Новосибирск, 2011. – 126 с.
6. Рыбкина И. Д., Стоящева Н. В., Курепина Н. Ю. Методика зонирования территории речного бассейна по совокупной антропогенной нагрузке (на примере Обь-Иртышского бассейна) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2011. – № 4. – С. 42-52.
7. Курепина Н. Ю. Опыт картографирования антропогенной нагрузки на водосборную территорию и водные объекты // Сб. материалов VII Междунар. научного конгресса ГЕО-СИБИРЬ-2011, Т.1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. – Новосибирск: СГА, 2011. – С. 230-235.
8. Болгов М.В., Коробкина Е.А. О моделировании колебаний уровня оз.Чаны для управления его гидрологическим режимом // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2012. – № 1. – С. 4-22.
9. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957. – 352 с.
10. Справочник по гидравлике (под ред. В.А. Большакова). – Киев: Вища школа, 1977. – 280 с.
11. Коробкина Е.А. Применение логарифмического распределения Пирсона III типа для моделирования годовых значений притока к озеру Чаны // Современные проблемы стохастической гидрологии и регулирования стока. Труды Всероссийской научной конференции, Москва, 10-12 апреля 2012 г. – М., 2012 – С. 117-121.
12. Сарманов И. О., Болгов М. В. Несимметричная линейная корреляция между величинами, имеющими трехпараметрическое гамма-распределение Крицкого-Менкеля // Тезисы докладов VI Всероссийского гидрологического съезда, 28

сентября – 1 октября 2004 г., г. Санкт-Петербург. Секция 5. – СПб: Гидрометеиздат, 2004. – С. 185-187.

13. Болгов М. В. Современное состояние теории корреляции для гидрологических расчетов и моделирования // Современные проблемы стохастической гидрологии и регулирования стока. Труды Всероссийской научной конференции, Москва, 10-12 апреля 2012 г. – М., 2012. – С. 15-33.

УСЛОВИЯ САМООЧИЩЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД БАСЕЙНА ОЗ. БАЙКАЛ

О.В. Гагаринова

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН

CONDITIONS OF SELF-PURIFICATION OF SURFACE WATERS OF LAKE BAIKAL BASIN

O. V. Gagarinova

V.B.Sochava Institute of Geography SB RAS,

whydro@irigs.irk.ru

Исследование механизмов самоочищения и возможностей поддержания данной функции – одна из важнейших водно-экологических задач. Оценка потенциала самоочищения поверхностных вод бассейна оз. Байкал основывается на комплексном подходе, сочетающем исследование ландшафтно-гидрологических особенностей водосбора и процессов трансформации загрязняющих веществ в водных объектах. Критерии и параметры оценки достаточно объективны, результаты могут быть использованы в решении практических задач экологической направленности.

The research of the mechanisms of self-purification capacity and maintenance of this function is one of the most important water-ecological problems. Evaluation of self-purification capacity of surface waters of Lake Baikal basin is based on an integrated approach, combining the landscape study and watershed hydrology, and transformation processes of pollutants into water bodies. The criteria and evaluation parameters are objective enough; the results can be used in solving practical problems of environmental focus.

Способность водных объектов к самоочищению определяется большим количеством физических, химических и биологических процессов, способствующих нейтрализации поступающих загрязнителей на поверхность водосбора и в водные объекты, а также восстановлению первоначальных свойств и состава воды. Исследование механизмов очищения и возможностей

поддержания данной функции являются одними из важнейших природоохранных задач.

В проектировании и строительстве существует обязательная оценка самоочищения водных объектов в соответствии с конкретными методиками, а также ряд ГОСТов и СНиПов обязывают водопользователей учитывать ассимилирующую способность водных объектов [1-3]. Применение таких нормативов возможно в ходе проектно-изыскательских работах на основании установленных перечней гидрологических и химико-биологических исследований. В условиях же обширных пространств для характеристики водно-экологического состояния значительных территорий такой подход затруднен в связи с необходимостью экспериментальных измерений и многочисленных расчетов. Для фоновой обобщающей характеристики условий самоочищения природных вод необходимы критерии и параметры оценки, которые достаточно объективны, универсальны и одновременно доступны исследователю. Среди научных работ, касающихся самоочищающей способности природных вод, основной акцент делается на оценку химико-биологических условий водоемов. Комплексные исследования, сочетающие рассмотрение биохимических процессов и гидрологического режима водных объектов, встречаются редко и в качестве одной из таких можно отметить работу В.А. Скорнякова с соавторами, посвященную оценке и картографированию условий самоочищения поверхностных вод России, в которой предложена система критериев и параметров оценки очищения, не связанная с прямыми измерениями [4]. В нашей работе использованы данные наработки, дополненные и скорректированные к условиям Байкальского региона.

Основными процессами, обуславливающими самоочищение водных объектов, являются биохимическое окисление и условия разбавления и перемешивания вод. Наибольшее значение в задаче нейтрализации загрязняющих веществ (ЗВ) имеет окисление, которое при прямых измерениях определяется величиной БПК и ХПК. Эти показатели характеризуют количество кислорода, расходуемое на процесс окисления загрязнителей, что в свою очередь, прямо зависит от температуры водных масс. Исходя из этого, можно считать, что интенсивность окислительно-восстановительных процессов достаточно объективно индицируется средней температурой воды за теплый период [5]. Процесс разбавления поступающих загрязнителей способствует снижению их концентрации, а перемешивание обеспечивает ре-аэрацию водных масс, что опять же активизирует восстановительно-окислительные реакции. Разбавление загрязняющих веществ целесообразно оценивать количеством воды, поступающей в водный объект, или его проточностью. Однако такая характеристика возможна не для всех водных объектов исследуемой территории в виду отсутствия данных о приточности для большинства озер. В связи с этим для определения разбавляющей способности в водоемах нами принята среднегодовая величина объема воды объекта. Для водотоков территории количественным

показателем разбавляющей способности является средний годовой расход воды. Характеристикой условий перемешивания принимается уклон водотока, а для водоемов – соотношение глубины и площади водной поверхности.

Для характеристики самоочищающего потенциала водных объектов территории Байкальского региона наиболее показательными считаем водосборы средних по величине рек (4-6 порядка по Страллеру) и озер. Малые водные объекты с площадью водосбора менее 1000 км² не принимались во внимание.

В методическом плане для оценки условий самоочищения водных объектов были разработаны соответствующие шкалы для статистического и сравнительного анализа и параметризации характеристик. Оценка самоочищающих способностей рек и водоемов осуществлялась в два этапа. На первом этапе производилась оценка трансформации загрязняющих веществ в результате биохимических процессов, которые обуславливаются температурным режимом и интенсивностью перемешивания водных масс. Второй этап заключался в определении условий разбавления загрязнителей на основании величины расходов воды водотоков и объемов воды в озерах и водохранилищах. Анализ и расчеты осуществлялись на основе данных УГКС и Госкомгидромета [6] на территорию бассейна оз. Байкал (Иркутская область, Забайкальский край, республика Бурятия).

В результате полученных характеристик, индицирующих условия трансформации ЗВ, водные объекты территории были отнесены к четырем категориям, соответствующим различным степеням условий самоочищения: хорошие, удовлетворительные, плохие и очень плохие. Анализ результатов показал невозможность выделения одного фактора, оказывающего наибольшее влияние на степень самоочищающего потенциала, что подтверждает сложность процесса и его многофакторность. В качестве выводов отмечаем следующее:

- наиболее благоприятные условия самоочищения формируются на участках рек при сочетании максимальных расходов и максимальной температуры воды;
- малые реки и озера обладают более низкими самоочищающими способностями по сравнению с более крупными;
- условия перемешивания, т.е. ре-аэрация водных масс являются вторичным фактором в формировании потенциала самоочищения;
- большие глубины водоемов способствуют понижению потенциала самоочищения.

Наиболее благоприятные условия самоочищения на территории водосбора Байкала отмечаются на отдельных участках среднего течения рек Селенги, в бассейнах Баргузина и Верхней Ангары. Главными факторами, обусловившими такое положение, являются (как отмечалось выше) большая водоносность и относительно высокая температура воды. Большинство озер

и водохранилищ территории отнесены к категории удовлетворительных условий. Наименьший потенциал самоочищения свойственен небольшим рекам и водоемам.

Результаты оценки отражены на карте в виде линейных вдоль-русовых эпюр, которые показывают пространственные изменения самоочищающих способностей водных объектов территории. Проведенное исследование дает представление об условиях трансформации загрязнителей на основных водных объектах Байкальского региона и имеет практическое значение в решении водно-экологических вопросов.

Литература

1. ГОСТ 27065-86 Качество вод. Термины и определения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://gost.stroyss.ru/gost/17223_27065-86.html.
2. ГОСТ 17.1.1.01-77 Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Термины и определения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.allsnips.info/docs/4/4711/index.htm>.
3. Методические указания по предупредительному государственному санитарному надзору за районной планировкой. МУ 4954-89 – Текст документа по состоянию на июль 2011 года. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://document.ua/docs/tdoc4019.php>.
4. Скорняков В.А., Даценко Ю.С., Масленникова В.В. Картографирование условий самоочищения природных вод // Вестн. Моск. ун-та. Сер 5. География. – 1997. – № 5 – С. 62-66.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР – Т. 16, вып. 3, 1973; Т. 18, вып. 1, 1966; Т. 16, вып. 2, 1972. – Л.: Гидрометиздат.
6. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши – Т. 1: вып. 14, 1986; Т. 1: вып. 13, 1986 – Л.: Гидрометеиздат.

ВЛИЯНИЕ БОЛОТ БАССЕЙНА ОБИ НА ЕСТЕСТВЕННУЮ ЗАРЕГУЛИРОВАННОСТЬ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА

В.П. Галахов

Институт водных и экологических проблем СО РАН

THE INFLUENCE OF SWAMPS IN THE R.OB' BASIN ON NATURAL REGULATION OF SURFACE RUNOFF

V.P. Galakhov

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS

Рассмотрено влияние заболоченности на коэффициенты естественной зарегулированности для речных бассейнов Оби.

The swamping effect on coefficients of natural regulation is considered for the Ob' river basins.

В качестве характеристики внутригодового распределения стока в инженерных расчетах используется кривая продолжительности суточных расходов воды. Расходы воды (ординаты) выражаются в долях от среднего многолетнего расхода, а продолжительность стояния (абсциссы) – в долях от года. Форма кривой достаточно хорошо определяется коэффициентом естественной зарегулированности стока (ϕ), который характеризует долю базисного стока в годовом интервале и представляет собой отношение площади графика кривой продолжительности до ординаты равной единице к общей площади кривой продолжительности суточных расходов воды.

Для оценки коэффициентов естественной зарегулированности на равнине были выбраны створы с большим процентом заболоченности. В качестве альтернативы взяты створы Обь-Барнаул и Кулунда-Шимолино, которые практически не заболочены. Для них были определены коэффициенты естественной зарегулированности за различные по водности годы (табл. 1).

Таблица 1 – Коэффициенты естественной зарегулированности (ϕ) кривых продолжительности суточных расходов воды за характерные годы в опорных створах на равнине

Река	Створ	Коэффициенты естественной зарегулированности (ϕ)		
		водность		
		средняя	максимальная	минимальная
Обь	Барнаул	0,65	0,44	0,72
Кулунда	Шимолино	0,87	0,29	1,00
Горчак	Майск	0,51	0,21	0,75
Васюган	Майск	0,35	0,25	0,99
Васюган	Наунак	0,59	0,50	0,94
Каргат	Гавриловка	0,41	0,10	1,00
Каргат	Здвинск	0,24	0,17	1,00
Чулым	Ярки	0,22	0,10	1,00
Вах	Лобчинское	0,60	0,56	0,78
Ишим	Ильинка	0,33	0,19	1,00
Ишим	Орехово	0,36	0,27	1,00
Онь	Вознесенское	0,57	0,24	1,00
Тара	М.Красноярское	0,49	0,28	1,00

Анализ полученных коэффициентов естественной зарегулированности показал, что:

– коэффициент естественной зарегулированности заболоченных водосборов зависит от процента заболоченности – чем больше процент заболоченности, тем больше коэффициент зарегулированности; При заболоченности более 30 %, коэффициент естественной зарегулированности становится постоянным и равным примерно 0,5-0,6 (рис. 1);

– в год близкий по водности к максимальному, зависимость коэффициента естественной зарегулированности от процента заболачивания водосбора выражена более выпукло и в отличие от среднего многолетнего прямолинейна (рис. 2);

– в год близкий по водности к минимальному, зависимость коэффициента естественной зарегулированности от процента заболачивания водосбора практически не выражена при проценте заболачивания от 0 до 40 %; коэффициент естественной зарегулированности в этом случае равен единице, и лишь при большем увеличении процента заболачивания коэффициент естественной зарегулированности опускается до 0,9-0,8 (рис. 3).

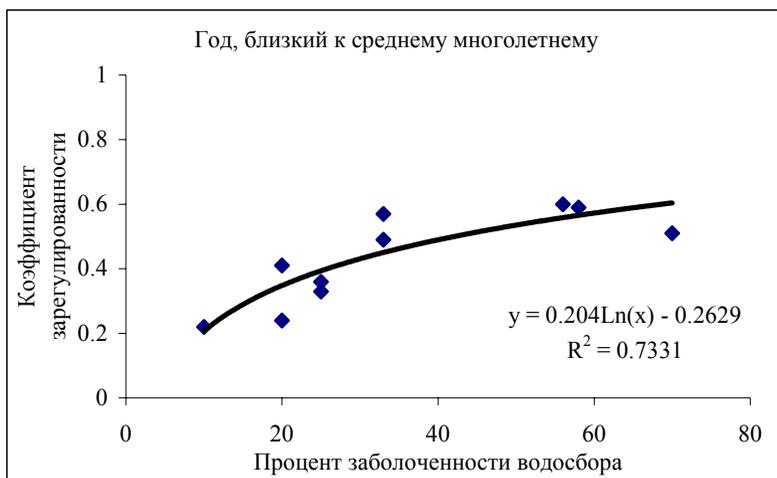


Рис. 1. Зависимость коэффициента естественной зарегулированности заболоченных водосборов от процента заболоченности в год, близкий по водности к среднему многолетнему

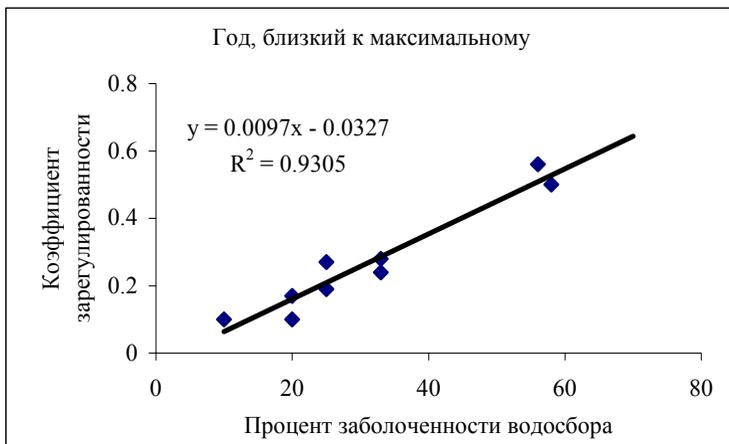


Рис. 2. Зависимость коэффициента естественной зарегулированности забо́лоченных водосборов от процента забо́лоченности в год, близкий по водности к максимальному

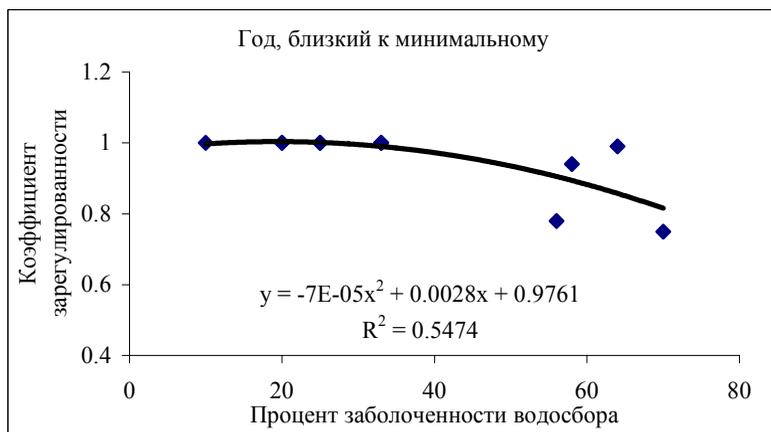


Рис. 3. Зависимость коэффициента естественной зарегулированности забо́лоченных водосборов от процента забо́лоченности в год, близкий по водности к минимальному

Работа выполнена в рамках междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН №69 «Интегрированные исследования климатических, гидрологических и экосистемных процессов на территории болот Западной Сибири».

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ УЧАСТКОВ РЕЧНОЙ СЕТИ ДЛЯ РАСЧЕТА И ПРОГНОЗА ПОЛЕЙ СКОРОСТИ, СТОКА НАНОСОВ И РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

*В.А. Земцов, Д.А. Вершинин, Н.Г. Инисhev
Томский государственный университет*

APPLICATION OF IMITATIVE COMPUTER MODELS OF THE RIVER NETWORK REACHES FOR COMPUTATION AND FORECAST OF VELOCITY FIELDS, SEDIMENT FLOW AND RIVER CHANNEL DEFORMATIONS

*V.A. Zemtsov, D.A. Vershinin, N.G. Inishev
Tomsk State University, vz@mail.tomsknet.ru*

Исследуемые участки рек Обь и Томь (Западная Сибирь) включают в себя русла с поймами и протоками. Для имитационного компьютерного моделирования используются моделирующие системы HEC-RAS 4.0 (создание одномерных моделей разветвленных сетей) и SMS 9.2 (двумерные модели). Рассматриваются задачи и основные проблемы моделирования речных участков для расчета и прогноза полей скорости, стока наносов и русловых деформаций.

The studied reaches of the Ob and Tom Rivers (West Siberia) contain river channels with branches and floodplains. The modeling systems HEC-RAS 4.0 (1D models of river networks) and SMS 9.2 (2D RMA2 model) are used for computer imitations of hydraulic processes. The goals and main problems of the river reach simulation for the estimation and forecast of velocity fields, sediment load and bed deformations are considered.

Математическое моделирование гидродинамических процессов заключается в описании их с помощью системы уравнений (математическая модель процесса) и исследовании решений этих уравнений в зависимости от изменения параметров, начальных и граничных условий. Компьютерное моделирование предусматривает «как расчет на основании той или иной численной модели, так и сбор и подготовку исходных данных и представление результатов исследований с применением компьютерных технологий» [1, с. 128]. Имитационное компьютерное моделирование процесса позволяет быстро просчитать разные варианты входных воздействий и реакции на них природной системы, что дает возможность оценить количественно и выбрать наиболее приемлемые варианты воздействий. Важной задачей компьютерных моделей является выработка инженерных решений, касающихся проектирования, размещения и эксплуатации разного рода гидротехнических сооружений.

Нами рассмотрены вопросы одно- и двумерного моделирования русел крупных сибирских рек с поймами на основе моделирующих систем HEC-RAS 4.0 и SMS 9.2 [2-3]. Настоящая статья посвящена более общей проблеме построения моделей.

Весь процесс моделирования состоит из трех основных этапов: подготовка и адаптация исходных материалов для применения их в компьютерном моделировании (1); создание модели для естественных или соответствующих заданной расчетной обеспеченности условий и ее калибровка с определением значений параметров модели (2); моделирование процессов квази-естественной эволюции русла, а также разных вариантов гидротехнических сооружений и других техногенных воздействий, анализ полученных результатов и выдача рекомендаций для оптимизации воздействий (3).

Решаемые нами задачи моделирования включают расчет и прогноз: положения кривой свободной поверхности потоков (HEC-RAS, RMA2 в системе SMS 9.2); перераспределения расходов воды между протоками при изменении водности реки и геометрии русла (HEC-RAS, RMA2); полей скорости на вертикалях, глубин, отметок свободной поверхности, уклонов в русле, касательных напряжений и др. динамических параметров (RMA2); стока наносов в русловой системе и его изменчивости, определяемой изменчивостью водности реки и геометрии русла (HEC-RAS); деформаций русла (размыв и аккумуляция), изменения гранулометрического состава донных отложений в границах смоченного периметра (HEC-RAS). Прогнозы даются для естественной динамики потока и при антропогенных воздействиях для спокойного, бурного и смешанного состояния потока, в основном при установившемся движении воды. При этом учитывается изменчивость водности реки внутри года и во многолетнем разрезе.

Для таких крупных сибирских рек, как Обь и Томь, на исследуемых участках характерно наличие поймы и большого количества проток, соотношения между которыми сильно меняются с изменением водности реки при прохождении половодья. Сложность рельефа поймы при небольших относительных превышениях местности, деление и слияние потоков предъявляют повышенные требования к точности задания геометрии и усложняют компьютерные модели. Поэтому все блоки и отдельные программы, входящие в указанные моделирующие системы, для решения любых задач нуждаются в адекватной по точности цифровой модели рельефа (ЦМР), позволяющей задать геометрические данные. Далее требуются гидрологическая информация по расходам и уровням воды в потоках и данные о наносах и донных грунтах (гранулометрический состав, расходы наносов).

В качестве геометрических данных 1D модели требуются задания поперечных сечений всех потоков и расстояний между этими сечениями (которые должны отражать все изменения продольного профиля, и живого сечения потока вдоль него). Еще более детальная информация требуется для

2D моделей, особенно в прибрежной зоне и в местах сопряжения потоков. Для построения ЦМР требуется детальная крупномасштабная съемка русла реки и проток. Необходима и ЦМР поймы, как минимум, в границах ее затопления при расходах воды редкой повторяемости. Нужные картографические материалы для обширных территорий пойм, как правило, отсутствуют, поэтому привлекаются данные космического зондирования, в частности, SRTM-матрицы (<http://srtm.csi.cgiar.org>). Отметки высот, полученные с SRTM-матриц, в свою очередь требуют корректировки в соответствии с ландшафтной структурой поймы. Наиболее тщательно необходимо задавать границу перехода от русловой части к пойменной, т.к. сечение рельефа здесь наибольшее. В этих местах ширина ячеек должна быть значительно уменьшена, т.к. в моменты наполнения и опорожнения русла возникает неустойчивое решение. При наличии гривистого рельефа и заросшей поймы необходимо вносить корректировки высотных отметок SRTM-матриц геодезическими способами.

В геометрический блок входят также значения коэффициентов шероховатости Шези и в 2D модели RMA2 – параметра турбулентности, связанного с числом Пекле. Шероховатости русла и проток могут заметно различаться в соответствии с рельефом их дна. Шероховатость русла увеличивается, например, при нарушении дна (добыча НСМ, особенно при переходе от ненарушенных участков дна к нарушенным и наоборот).

В гидрологическом блоке моделей требуется иметь данные по расходам и уровням воды в разных створах русловой сети. Данные по распределению скоростей течения в живом сечении и расходов воды в главном русле и протоках получаются с помощью акустического доплеровского профилографа (ADP).

При моделировании стока наносов и русловых деформаций расширенные требования предъявляются и к материалам изысканий, характеризующих сток и гранулометрический состав взвешенных и донных наносов, строение дна. Здесь важен также учет грядового движения наносов. Так движение песчаных гряд в половодье отмечается почти повсеместно на исследуемых нами участках Оби. Как показано в [4], на протоках Томи у Томска почти ежегодно образуются гряды, сложенные гравием, а это при существующем строении русловой сети здесь возможно только при существенном перераспределении стока воды между главным руслом и протоками в результате образования ледовых заторов весной.

В заключение подчеркнем, что 2D модели требуют на порядок большего количества информации, чем одномерные. Такая информация для русловых систем может быть получена только при обязательном проведении гидрографических съемок соответствующего масштаба и контроле топографических материалов и данных дистанционного зондирования земной поверхности полевыми определениями высотных отметок на лимитирующих по гидравлическим свойствам участках затапливаемой поймы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 10-05-00625а.

Литература

1. Бритвин С.О., Беликов В.В., Милитеев А.Н., Прудовский А.М., Родионов В.Б. Компьютерное моделирование – современный инструмент решения задач речной гидравлики. Прогнозирование паводков в проекте «Волга-Рейн» // Безопасность энергетических сооружений. Вып. 11. – М., 2003. – С. 126-131.
2. Земцов В.А., Вершинин Д.А., Инишев Н.Г., Лещенко П.Н. Опыт исследования русловых деформаций р. Томи в условиях интенсивного антропогенного воздействия // Эрозионные и русловые процессы в Сибири. – Барнаул, 2003. – С. 97-102.
3. Земцов В.А., Вершинин Д.А., Инишев Н.Г., Мезенцев А.В. Компьютерное моделирование речной динамики как элемент системы поддержки принятия решений (на примере крупных рек Сибири) // Водные проблемы крупных речных бассейнов и пути их решения. – Барнаул, 2009. – С. 520-534.
4. Короткова Е.М., Вершинин Д.А. Исследование процесса грядобразования на разветвленном участке р. Томи в связи с особенностями его водного и ледового режимов // Вестник Томского государственного университета. – 2011. – № 351. – С. 175-180.
5. Surface Water Modeling System. Tutorials. Version 9.2. – Brigham Young University, Environmental Modeling Research Laboratory, 2006.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

*А.Т. Зиновьев, В.П. Галахов, Е.Д. Кошелева, О.В. Ловцкая
Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН*

FORMATION OF SURFACE RUNOFF IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA CLIMATE CHANGE

*A.T. Zinoviev, V.P. Galakhov, E.D. Kosheleva, O.V. Lovtskaya
Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the
Russian Academy of Sciences,
lgg-iwep@yandex.ru*

Рассчитана динамика изменения увлажнения и температур теплого периода за последние 2 тысячи лет на юге Западной Сибири, дана оценка и прогноз на ближайшие столетия. Выполнен статистический анализ рядов среднегодовых расходов основных рек юга Западной Сибири, рассчитаны их тренды. Сделана

оценка текущих изменений норм стока, даны прогнозы на ближайшие 10-20 лет и выделены зоны увеличения и уменьшения стока на данной территории.

The dynamics of variations in moistening and temperature of the warm period for the last two thousand years in the south of Western Siberia is calculated, and the assessment and forecast for the next centuries is given. The statistical analysis of series of the average annual runoff in the main rivers of the south of Western Siberia is carried out, and the trends are calculated. The current changes in the flow rate are assessed, the forecast for the next 10-20 years is made, and the areas of flow increase and decrease on the territory under study are specified.

Повышение глобальной температуры воздуха, несомненно, оказывает влияние на Мировой океан и на воды суши. Только за период с 1976 по 2006 гг. (30 лет) изменение приземной температуры воздуха для России составило 1,4°C [1]. График межгодового хода уровня Мирового океана демонстрирует явно выраженный растущий тренд, составляющий около 200 мм за 180 лет [2]. Наблюдается синусоидальная гармоника в ходе уровня Мирового океана относительно линии тренда с точками перехода 1882, 1954 гг. и текущей положительной синусоидальной ветвью.

Для оценки динамики изменений климата на юге Западной Сибири использовались палеолимнологические реконструкции озера Чаны (Новосибирская область, РФ) и имитационная балансовая модель ледника Малого Актру (Алтай, РФ) [3]. При моделировании водного баланса оз. Чаны выполнен расчет изменения увлажнения в данном регионе за последние 2 тысячи лет (рис. 1). Текущая растущая положительная синусоидальная ветвь берет начало в первой половине 20 века (1910) и экстремум функции прогнозируется к 2100 г. Существующий тренд будет продолжаться до последней четверти 21 века.

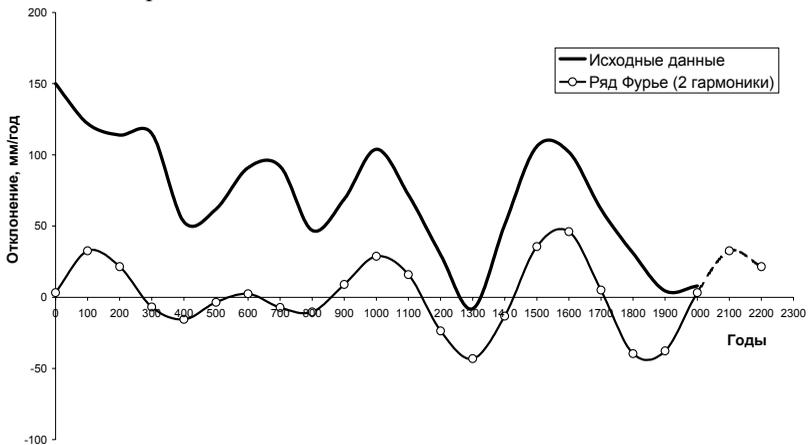


Рис. 1. Изменение увлажнения на юге Западной Сибири за последние две тысячи лет (на основе палеолимнологических реконструкций озера Чаны), мм/год

Исследования колебаний размеров ледников в альпийской зоне Алтая позволяют построить график изменения термического режима теплого периода за этот же период (рис. 2). График изменения среднегодовых температур имеет несколько больший период колебаний, чем график изменения увлажнения, но локальная ситуация в пределах последнего и текущего столетия характеризуется также растущим положительным трендом. Точка перегиба функции изменений температур пришлась на начало 20 века и, судя по прогнозу, положительный экстремум следует ожидать к 2170 году. 2012 год находится в области квазилинейного растущего тренда, в дальнейшем – с небольшим уменьшением скорости прироста.

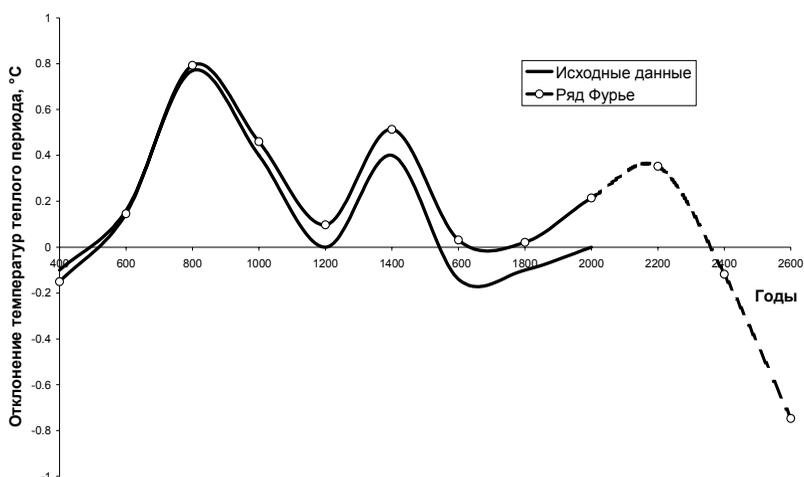


Рис. 2. Изменение отклонений температур теплого периода от среднего значения на юге Западной Сибири за последние две тысячи лет (на основе колебаний размеров ледников в альпийской зоне Алтая), °C

Рост температур и осадков в комплексе оказывает влияние на формирование поверхностного стока на юге Западной Сибири. В анализе изменения водности рек на изучаемой территории обрабатывались данные гидрологических ежегодников для створов, имеющих полный период наблюдений не менее 50 лет. По разностным интегральным кривым для каждого ряда установлен расчетный репрезентативный период, включающий в себя полные циклы водности.

При составлении гидрологических прогнозов применялся термин «сценарий» – правдоподобное и часто упрощенное описание развития событий в будущем, основанное на согласованном и внутренне непротиворечивом множестве предположений о движущих силах и основных

взаимосвязях. Условием реализации сценарного прогноза является сохранение текущего многолетнего тренда в годовом стоке рассматриваемых рек. Для прогноза на 10-20 лет такое условие допустимо, т.к. наиболее значимое влияние на поверхностный сток оказывает изменение увлажнения, которое на текущем интервале времени носит квазилинейный характер (рис. 1).

Для аналитического представления сценарного прогноза на основе линейных трендов использовалось приближенное равенство нормы стока Q_0 (м³/с), вычисленной по рядам наблюдений, и среднего значения ряда Q_0^T (м³/с) рассчитанного линейного тренда. Выделены следующие зоны изменения стока (рис.3):

Зона 1 (-): уменьшение стока рек Ануя (-2,2%/10 лет), Катуня (-6,2%/10 лет), Бии (-0,54%/10 лет) приведет к уменьшению нормы стока 2030 г. р. Оби в створе с. Фоминское на -3,1% относительно 2010 г.

Зона 2 (+): увеличение стока левых притоков Оби – Алея (+0,40%/10 лет) и Чарыша (+0,85%/10 лет) обуславливает рост нормы стока 2030 г. р. Оби на +1,1% (г. Барнаул) и +1,2% (г. Камень-на-Оби) относительно 2010 г.

Зона 3 (-): правобережные притоки р. Оби с уменьшающейся нормой стока (рр. Чумыш, Бердь, Томь, Чулым) создают падение нормы стока р. Оби в створе с. Колпашево на -3,1% относительно 2010 г.

Зона 4 (+): правобережные притоки Оби р. Кеть и р. Тым демонстрируют растущую норму стока. Относительное изменение к 2030 году составит +0,5% и +1,3%, соответственно.

Зона 5 (-): у левого притока Оби р. Касмалы и рек Обь-Иртышского междуречья (рр. Кулунда, Бурла, Каргат) нормы стока будут уменьшаться, соответственно, на -5,2%, -3,15%, -0,85%, -3,9% за 10 лет.

Зона 6 (+): в пределах Большого Васюганского болота имеется устойчивая тенденция увеличения норм речного стока. Данная область дает максимальные значения относительных изменений стока к 2030 г. на р. Омь +11,5% (юго-запад) и на р. Парабель (восток) +11,0%.

Зона 7 (-): правые притоки Иртыша рр. Шиш и Туй уменьшают водность со скоростью от -0,9 до -3,1% за 10 лет.

Зона 8 (+): у правого притока Иртыша р. Демьянка (с 50% залесенностью территории, 30% заболоченностью) происходит рост нормы стока на +5,4% каждые 10 лет.

Зона 9 (+): левый приток Иртыша река Ишим в пределах РФ увеличивает свою водность на 6-7% за 10 лет, что объясняется достаточной залесенностью и заболоченностью бассейна. От границы России и Казахстана до границы Омской и Тюменской областей залесенность бассейна (27000 км²) составляет 62%, заболоченность – 8%. Участок реки от границы Тюменской области до устья – с. Орехово (20000 км²) имеет залесенность 45%, заболоченность – 30%.

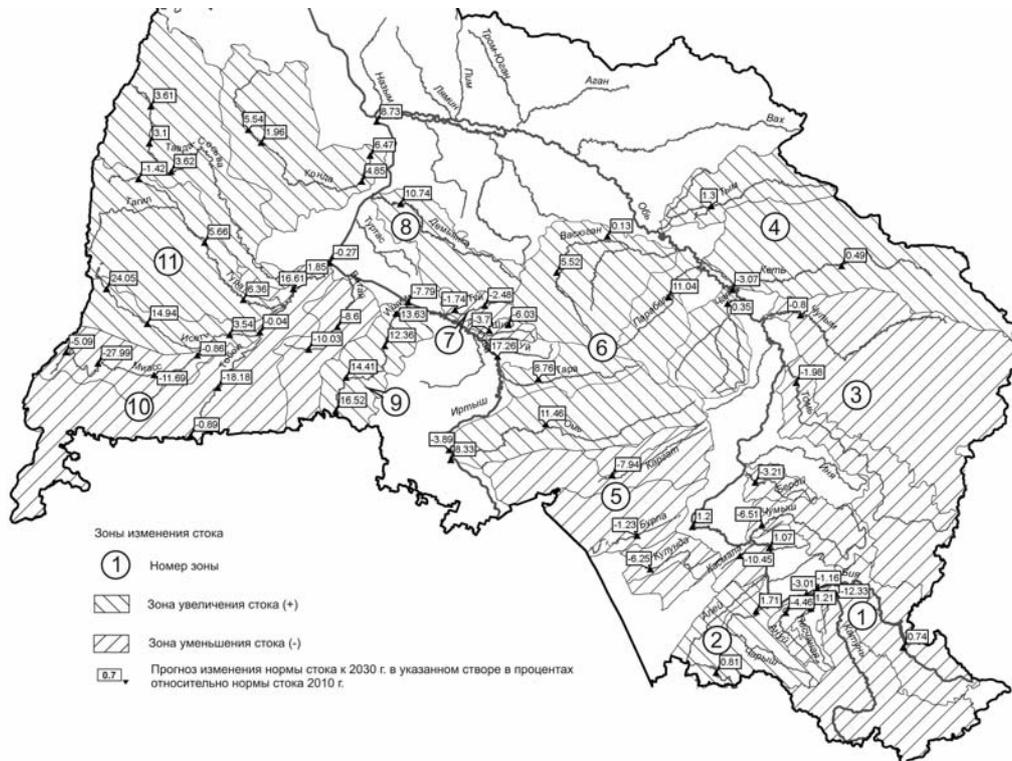


Рис. 3. Прогноз изменений норм стока рек юга Западной Сибири к 2030 г. относительно норм стока 2010 г., %

Зона 10 (-): реки левобережья Иртыша лесостепной и степной зон р. Миасс (заболоченность 5 % и менее), р. Тобол (заболоченность на расчетных участках 7, 6, 4, 16, 3 и 14 %) и соседствующая с Тоболом по водоразделу р. Вагай таежной области уменьшают свои нормы стока.

Зона 11 (+): реки левобережья Иртыша таежной области увеличивают свою водность (притоки Тобола – реки Исеть, Сосьва, Тура и приток Иртыша р. Конда).

Работа выполнена в рамках междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН VII.62.1.1 «Исследования гидрологических, гидрохимических, гидробиологических и экологических процессов в водных объектах Сибири с учетом антропогенных факторов и изменений климата».

Литература

1. Малинин В.Н. Изменчивость глобального водообмена в условиях меняющегося климата // Водные ресурсы. – 2009. – Т.36. – №1. – С. 15-28.
2. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. проф. И.А. Шикломанова. – СПб: Гос. гидрологический институт.–2008. – 600 с.
3. Галахов В.П. Оценка увлажнения юга Западной Сибири с помощью палеолимнологических реконструкций озера Чаны: монография. – Барнаул, Изд-во Алт. ун-та, 2011. – 152 с.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА: ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ, ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

*А.Т. Зиновьев, Е.Ю. Митрофанова, Е.И. Третьякова, К.В. Марусин,
А.В. Дьяченко, В.В. Блинов, Н.Г. Гранин, Р.Ю. Гнатовский,
Институт водных и экологических проблем СО РАН, zinoviev@iwep.ru*

LAKE TELETSKOYE INTEGRATED STUDY: TERMAL REGIME, HYDROCHEMICAL AND HYDROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS

*A.T. Zinovyev A.T., E.Yu. Mitrofanova, E.I. Tretyakova, K.V. Marusin,
A.V. Dyachenko, V.V. Blinov, R.Yu. Gnatovsky, N.G. Granin
Institute for Water and Environmental Problems SB RAS,
zinoviev@iwep.ru*

Приводятся данные современных наблюдений за пространственной неоднородностью физико-химических и гидробиологических характеристик Телецкого озера в различные гидрологические сезоны. Полученные в 2010-2012 гг. результаты существенно дополняют имеющиеся данные наблюдений за Телецким озером и позволяют, в частности, обосновывать постановку и решение задач по совершенствованию системы мониторинга Телецкого озера и его водосборного бассейна.

The observation data on spatial distribution of hydrophysical, hydrochemical and hydrobiological parameters for different hydrological periods in Lake Teletskoye are presented. The results obtained in 2010-2012 substantially add the existing data on Lake Teletskoye field studies in previous years. The new data allow us to ground the problem on monitoring systems development of the lake and its water catchment.

В условиях изменения климата и возрастающей антропогенной нагрузки на водные объекты и их водосборные бассейны одной из актуальных научных задач является совершенствование системы водно-экологического мониторинга за состоянием окружающей среды. Одним из путей ее решения являются натурные исследования гидрологических и физико-химических процессов, определяющих состояние экосистем крупных озер и водохранилищ. С этой целью в 2010-2012 гг. выполнены экспериментальные исследования термического и газового режимов Телецкого озера совместно с изучением его гидрохимических и гидробиологических характеристик. Полученные данные режимных наблюдений по пространственной неоднородности отдельных физико-химических характеристик озера в весенний и летне-осенний гидрологические периоды позволяют, в том числе, уточнить постановку и решение задач по оценке и/или прогнозированию экологического состояния

малоизученных глубоких водоемов. К их числу относятся и прогностические задачи по проектируемым сибирским водохранилищам.

Экосистема Телецкого озера – уникального природного водоема на юге Западной Сибири в разные годы была объектом исследований в рамках крупных национальных и международных научных программ. В конце 90-х годов прошлого века озеро теоретически изучали в качестве водоема-аналога проектировавшегося Катунского водохранилища [1].

В целом, натурные исследования Телецкого озера, результаты которых приведены в вкладыде, направлены на решение фундаментальной проблемы лимнологии, связанной с выявлением закономерностей формирования и функционирования экосистем глубоких водоемов как результата взаимодействия разных физико-химических процессов.

Объект исследования. Телецкое озеро представляет собой проточный водоем вытянутой формы (рис. 1а). Длина озера равна 77,8 км, максимальная ширина – 5,2 км, максимальная глубина – 323,3 м. В озеро впадают около 70 рек. Основная часть стока в озеро поступает через р. Чулышман (70-75%) в южном его конце. В противоположном (северном) конце озера вытекает р. Бия. Основные боковые притоки озера: рр. Чири, Б. Чили, Кокши, Корбу, Камга, Чеченек, Колдор, Самыш. Влияние остальных более мелких притоков при необходимости можно учесть добавлением их расходов к расходам основных притоков в соответствии с принимаемой схемой районирования бассейна [2].

Постановка задачи. Задачей полевых исследований являлось получение натуральных данных по пространственно-временной неоднородности температуры воды, содержания растворенного кислорода и биогенных элементов в Телецком озере и оценка влияния физико-химических факторов на состав, структуру и распределение в водной толще водорослей планктона, первичного звена в экосистеме озера.

Результаты и обсуждение. Натурные исследования термического и газового режимов Телецкого озера совместно с изучением распределения биогенных элементов и водорослей планктона были осуществлены в 2010 г. (12-13 и 29 августа, 29-30 сентября), 2011 г. (11-15 июля и 22-27 августа) и 2012 г. (5-9 июня). С использованием профилографа SeaCat SBE 19plus получены данные по распределению температуры воды в Телецком озере на различных вертикалях (рис. 1) в весенне-осенний период, дополняющие данные прошлых лет.

Так проведенное 27 и 29 августа 2010 г. вертикальное зондирование водной толщи озера на 10 станциях по продольному разрезу показало наличие прямой температурной стратификации во всей водной толще. На глубинах от 50 м до дна профиль температуры близок к профилю максимальной плотности, что свидетельствует о слабой плотностной стратификации озера. В этих исследованиях выделяются две группы станций: 1-4 в южной оконечности озера, на которых термоклин залегает на глубине

до 20 м, и остальные станции в северной части озера, где глубина залегания нижней области термоклина увеличивается до 40-50 м. Это, вероятно, обусловлено усилением ветро-волнового перемешивания при удалении от южной оконечности озера.

Результаты натуральных исследований 2010-2012 гг. указывают на то, что влияние приточности р. Чулышман при формировании вертикальной плотностной стратификации в озере распространяется на значительную часть глубоководной котловины водоема. Измерения на поперечных разрезах показали, что глубина залегания термоклина в общем случае слабо меняется поперек озера. Однако существенно влияет на профиль температуры боковая приточность в озере. Анализ натуральных данных по профилям температуры показал, что в математических моделях термического режима глубокого Телецкого озера нужно учитывать эффект сжимаемости воды.

По данным гидрохимических наблюдений установлено, что содержание биогенных элементов группы азота (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) в воде Телецкого озера невысоко и доминирующей формой азота являются нитрат-ионы, содержание которых лежат в пределах 0,66-1,86 мг/дм³, что указывает на протекание в озере интенсивных процессов нитрификации в условиях избыточного кислородного насыщения. Концентрации нитритного азота крайне низки. Ионы аммония занимают промежуточное положение между нитрат- и нитрит-ионами с невысокими концентрациями (0,022-0,098 мг/дм³), характерными для олиготрофных озер. Изучение вертикального распределения концентраций элементов группы азота выявило тенденцию их повышения с увеличением глубины только для нитрат-ионов, для ионов аммония характерно неравномерное изменение по профилю. Содержание фосфат-ионов в водах Телецкого озера незначительно и находится на уровне микрограммовых количеств, распределение их по вертикальному профилю носит неравномерный характер. Содержание кремния на один-два порядка превосходит содержания остальных биогенных элементов и составляет в среднем 2,18-2,90 мг/дм³.

Высокое содержание растворенного кислорода и невысокие концентрации биогенных элементов в Телецком озере и его притоках свидетельствуют о протекании активных биохимических процессов самоочищения посредством нитрификации и фотосинтеза и позволяют классифицировать изучаемые воды как чистые.

Распределение водорослей как первичных продуцентов экосистемы озера в толще воды зависит от многих факторов среды. Выявлено, что основная масса планктона сосредоточена в верхней части фотической зоны (0-10 м) вне зависимости от гидрологического сезона при прямой (летом) и обратной (зимой подо льдом) стратификации и перемешивании водной толщи (в периоды весенней и осенней гомотермии) только с разными количественными показателями. Установлено, что температура воды более значима для развития и распределения водорослей в периоды стратификации водоема. Так на ст. Яйлю (12.08.2010) выявлена высокая корреляционная

зависимость температуры воды и количественных показателей фитопланктона: 1,00 – численность, 0,94 – биомасса, 0,79 – число видов, на ст. Корбу – 0,93, 0,99, 0,98, соответственно.

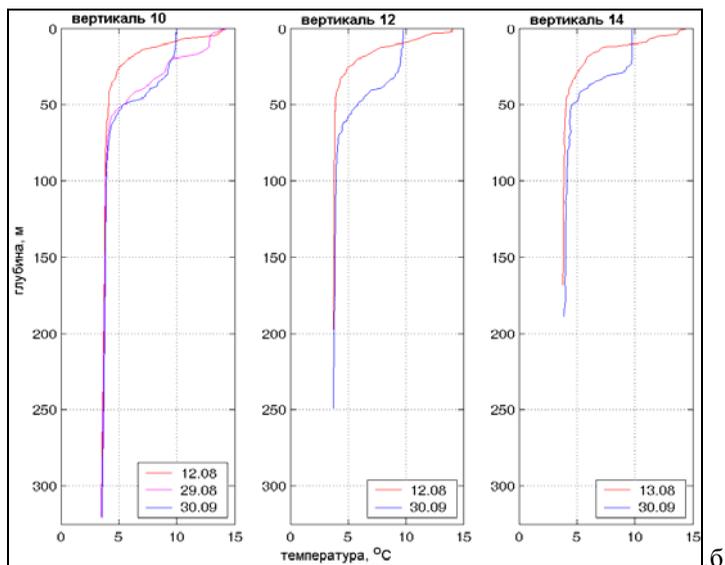
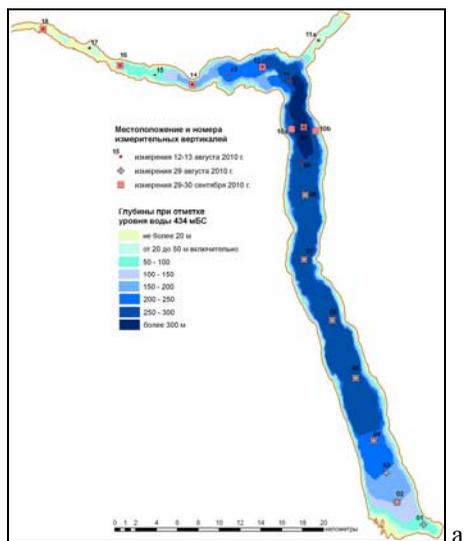


Рис. 1. Расположение и номера измерительных вертикалей (а) и профили температуры воды на вертикалях 10, 12 и 14 (б) по результатам измерений 12-13, 29 августа и 30 сентября 2010 г.

Анализ содержания и вертикального распределения биогенов и количества фитопланктона в толще воды позволяет предположить, что лимитирующим фактором в развитии фитопланктона в глубоком олиготрофном Телецком озере является фосфор, концентрации которого предельно низки. Такая роль отводилась фосфору и ранее [3], ведь лимитирование по фосфору характерно для многих глубоких водоемов умеренной зоны. Кроме того, значительную роль в распределении водорослей в толще воды озера играют гидродинамические процессы. При этом содержание растворенного кислорода на распределение фитопланктона в Телецком озере не оказывает никакого влияния. Насыщение кислородом воды в озере высокое от поверхности до дна.

Выполнены натурные исследования динамики и механизмов формирования температурной и химической неоднородностей в Телецком озере, дополняющие и уточняющие данные наблюдений прошлых лет. С использованием современного измерительного комплекса получены вертикальные профили температуры и концентрации растворенного кислорода в разные гидрологические периоды. Показано существенное влияние сжимаемости воды в глубоком озере на температуру придонных слоев воды.

В ходе работ исследованы состав, структура и пространственное распределение фитопланктона вместе с вертикальным распределением биогенных элементов. Сформулировано предположение о том, что наиболее значимыми в распределении водорослей в толще воды являются гидродинамический фактор и содержание в воде фосфора, которые и лимитируют развитие фитопланктона.

Работа выполнена в рамках проекта СО РАН VII.62.1.1 «Исследование гидрологических, гидрохимических, гидробиологических и экологических процессов в водных объектах Сибири с учетом антропогенных факторов и изменения климата» и при финансовой поддержке Интеграционного проекта СО РАН № 132 (координатор - ак. Васильев О.Ф.).

Авторы признательны академику РАН О.Ф. Васильеву, д.х.н. Т.С. Папиной и к.б.н. В.В. Кириллову за интерес к работе и полезные обсуждения ее результатов.

Литература

1. Зиновьев А.Т. Моделирование температурной стратификации Телецкого озера // Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. Вып. 1.- Новосибирск: Изд-во ИАЭ СО РАН, 2002. - С. 212-216.
2. Селегей В.В, Селегей Т.С. Телецкое озеро. - Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 142 с.
3. Тарасова Е.Н. Компоненты трофического статуса в водах озер Байкал, Хубсугул и Телецкое // Сиб. экол. журн. – 1998. – № 5. – С. 383-390.

АНАЛИЗ КЛИМАТО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ФОНА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ (К МЕТОДИКЕ ЛАНДШАФТНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ)

*Д.В. Золотов, О.П. Николаева, Д.В. Черных
Институт водных и экологических проблем СО РАН, cher@iwepr.ru*

THE ANALYSIS OF CLIMATIC-HYDROLOGIC BACKGROUND FOR WATER RESOURCES ASSESSMENT (TO THE TECHNIQUE FOR LANDSCAPE-HYDROLOGIC STUDIES)

*D.V. Zolotov, O.P. Nikolaeva, D.V. Chernykh
Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, cher@iwepr.ru*

По данным 19-ти метеостанций (1966/67–2000/01 гг.) западной части Алтайского края построены карты атмосферного увлажнения: среднемноголетнего, в «средний» 1970/71 г., «сухой» 1998/99 г. и «влажный» 1971/72 г. Показано что, несмотря на преобладание значимой положительной корреляции между станциями картографическое отображение зон увлажнения в конкретные годы носит индивидуальный характер.

The atmospheric humidification maps (mean annual, "average" 1970/71 year, "arid" 1998/99 and "humid" 1971/72) were constructed based on the data obtained in 1966/67–2000/01 from 19 meteorological stations situated in western part of Altai Krai. It is shown that in spite of the predominance of significant positive correlation among weather stations, the mapped humidification zones in concrete years bear the individual character.

Алгоритм ландшафтно-гидрологических исследований в условиях дефицита гидрометеорологической информации должен опираться на анализ климато-гидрологического фона, позволяющего определить региональные условия функционирования ландшафтов. Основной характеристикой климато-гидрологического фона является атмосферное увлажнение, которое наиболее часто выражается коэффициентом увлажнения Высоцкого-Иванова ($K_{увл.} = R/E$, где R – годовое количество осадков; E – годовая испаряемость). Последняя рассчитана по формуле Э.Г. Коломыца [1]: $E = 1384 - 161,6 t_{июля} + 6,245 t_{июля}^2$.

Фон атмосферного увлажнения определялся за период 1966/67–2000/01 гг. (гидрологический год: ноябрь–октябрь) по данным 19-ти метеостанций западной части Алтайского края: Алейск, Баво, Барнаул, Благовещенка, Волчиха, Змеиногорск, Камень-на-Оби, Ключи, Краснощеково, Кулунда, Мамонтово, Ребриха, Родино, Рубцовск, Славгород, Тальменка, Угловское, Хабары, Шелаболиха (<http://www.meteo.ru>). Полученный «квадрат» охватил предгорья Северо-Западного Алтая, сухо-степную, засушливо-степную,

умеренно-засушливо-степную, южно-лесостепную и средне-лесостепную подзоны равнины.

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена показал преобладание средней (91 пара, 53,2%) и сильной (74 пары, 43,3%) тесноты связи между станциями по коэффициенту увлажнения. Только у Тальменки наблюдаются незначимая корреляция с 6-ю другими станциями, а у Ключей отсутствуют сильные связи с другими станциями. Таким образом, в целом весь массив значений коэффициента увлажнения по метеостанциям хорошо связан прямой линейной зависимостью, т.е. при увеличении увлажнения на одной из рассматриваемых станций то же самое с высокой вероятностью будет происходить и на других и, наоборот, при уменьшении увлажнения.

Анализ графиков коэффициента увлажнения позволил выделить модельные «сухой», «влажный» и «средний» годы для подавляющего большинства метеостанций, сравнить их со среднемноголетними значениями. В кризисные годы коэффициент увлажнения конкретной метеостанции может до двух и более раз отклоняться от среднемноголетних значений. В «сухой» год по всем метеостанциям коэффициент увлажнения меньше, чем во «влажный». Только в Баво в «средний» год увлажнение оказалось выше, чем во «влажный», тогда как пересечение графиков среднемноголетнего значения и «среднего» года вполне закономерно.

Для картографической визуализации использована общепринятая [2] в настоящий момент классификация климатов по градации коэффициента увлажнения (табл. 1). Зонально семигумидные климаты соответствуют лесостепной зоне, семиаридные – степной, аридные – полупустынной, экстрааридные – пустынной. Гумидные климаты, как правило, свойственны лесной зоне и поясу в горах, а экстрагумидные – тундровой. При построении карт атмосферного увлажнения использован модуль ArcGIS Spatial Analyst.

Анализ полученных карт (рис. 1-4) показывает, что при общем направлении увеличения увлажнения с юго-запада на северо-восток и юго-восток (к горам Алтая), очертания зон увлажнения в конкретные годы значительно отличаются от среднемноголетнего их распределения.

Таблица 1 – Классификация климатов по градации коэффициента увлажнения

Климат	Коэффициент увлажнения
Очень влажные (экстрагумидные)	более 1,33
Влажные (гумидные)	1,33-1
Полувлажные (семигумидные)	1-0,55
Полусухие (семиаридные)	0,55-0,33
Сухие (аридные)	0,33-0,12
Очень сухие (экстрааридные)	менее 0,12

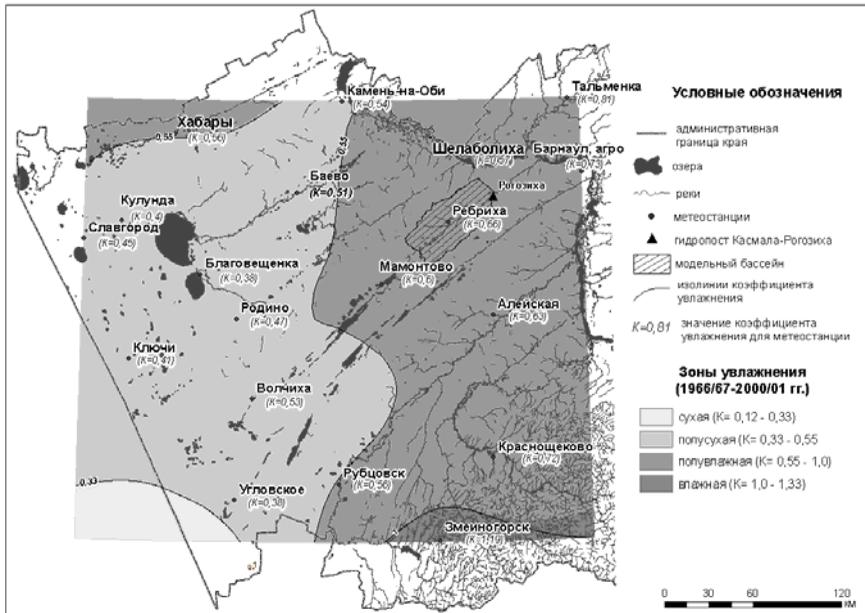


Рис. 1. Распределения среднегоголетнего атмосферного увлажнения

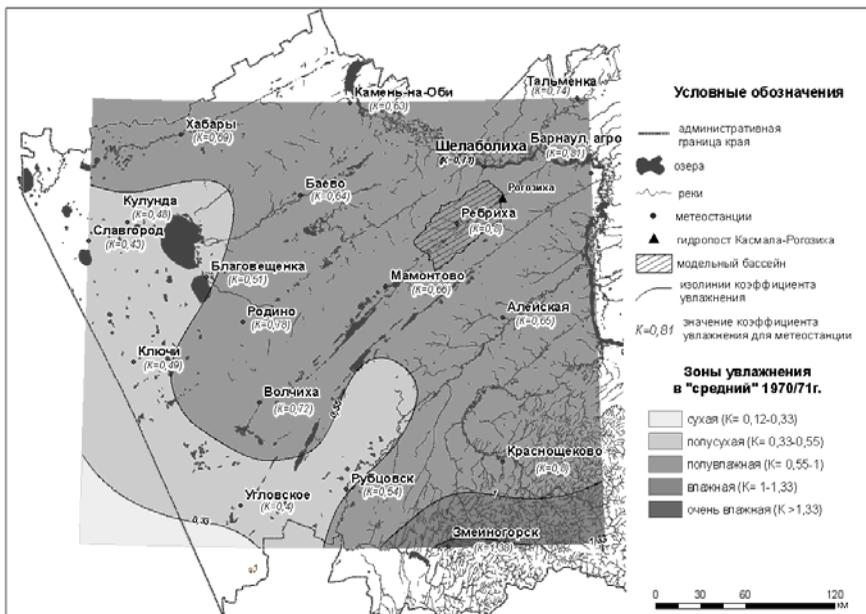


Рис. 2. Распределение атмосферного увлажнения в «средний» 1970/71 г.

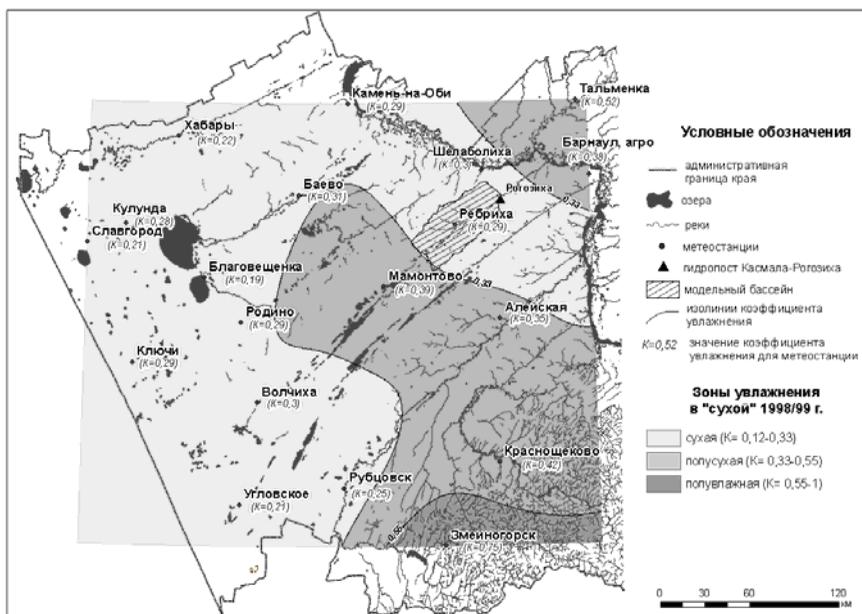


Рис. 3. Распределение атмосферного увлажнения Барн в «сухой» 1998/99 г.

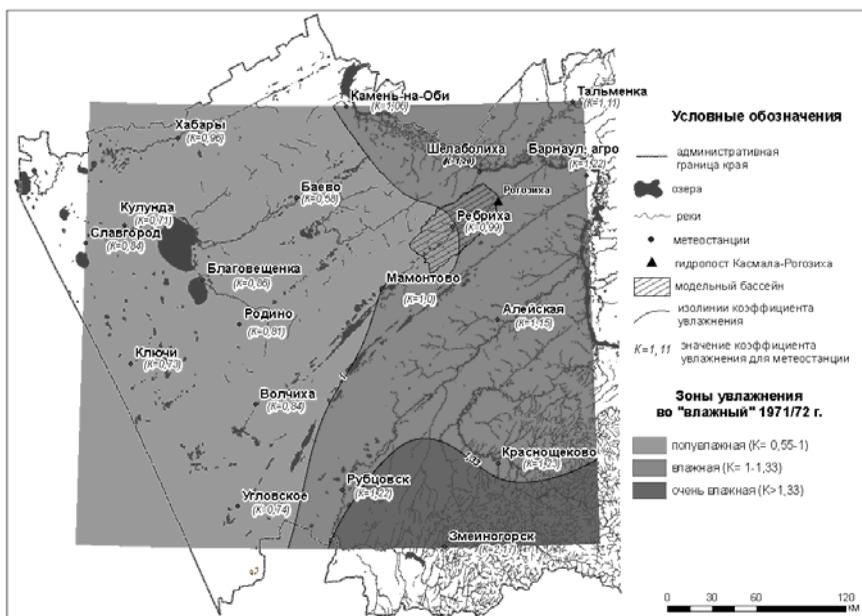


Рис. 4. Распределения атмосферного увлажнения во «влажный» 1971/72 г.

Выводы

1. Атмосферное увлажнение в западной части Алтайского края хорошо связано прямой линейной зависимостью, что приводит к взаимосвязанному относительно синхронному изменению его по годам.
2. Увлажнения конкретных метеостанций в кризисные годы отклоняется от среднееголетнего так, что их климат по атмосферному увлажнению может соответствовать другим природным зонам и высотным поясам.
3. В отдельные годы между метеостанциями района исследований не выполняются соотношения среднееголетних коэффициентов увлажнения за рассматриваемый период, которые могут изменяться вплоть до обратных.
4. Динамика коэффициента увлажнения в конкретных пунктах западной части Алтайского края приводит к тому, что в разные годы рисунок зон увлажнения принимает индивидуальный характер, который не соответствует или только в общих чертах соответствует среднееголетнему.

Литература

1. Коломыц Э.Г. Локальные коэффициенты увлажнения и их значения для экологических прогнозов // Изв. РАН. Серия географическая. – 2010. – № 5.
2. Ковриго В.П., Кауричев И.С., Бурлакова Л.М. Почвоведение с основами геологии. – М., 2000.

РАЗВЕДКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ МАГНИТОРЕЗОНАНСНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Е.В. Кальнеус¹, В.С. Кусковский²

¹ – *Институт химической кинетики и горения СО РАН*

² – *Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН*

THE GROUNDWATER SEARCHING BY MAGNETIC RESONANCE SOUNDING

E.V. Kalneus¹, V.S. Kuskovskiy²

¹ – *Institute of Chemical Kinetics and Combustion SB RAS,*

kalneus@kinetics.nsc.ru

² – *Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,*

KuskovskiyVS@ipgg.nsc.ru

Продемонстрированы преимущества, ограничения, особенности использования метода поверхностного ЯМР-зондирования, который позволяет проводить поиск

подземных вод и определять их параметры без бурения скважин. Представлена аппаратура для его реализации и приведены примеры полевых исследований подземных вод на территории Алтайского края.

The article is dedicated to surface Magnetic Resonance Sounding (MRS) that is a method is used to search groundwater and determine its parameters without well-boring. Advantages, restrictions, specific properties of this method and equipment for its use are demonstrated. Some examples of groundwater study in the Altai region by surface MRS are presented.

При изучении подземных вод в процессе гидрогеологических исследований применяются разные геофизические методы, но, как правило, все они дают результаты на основе измерения косвенных величин, например, электрического сопротивления пород. В Институте химической кинетики и горения (ИХКГ) СО РАН был разработан новый метод для поиска подземных вод, основанный на методике применения ядерного магнитного резонанса (ЯМР) в магнитном поле Земли. Получаемый при этом сигнал является ЯМР-сигналом от протонсодержащей жидкости (воды) и является прямым способом получения информации о подземных водоносных горизонтах. Благодаря этой особенности этот метод, получивший название поверхностного ЯМР-зондирования, сейчас активно развивается во многих странах [1-2].

Метод поверхностного ЯМР-зондирования основан на наблюдении наведенного сигнала от прецессии магнитного момента протонов подземной воды в геомагнитном поле Земли вследствие резонансного возбуждения. Методика измерений состоит в следующем. На поверхности земли раскладывается виток специального кабеля (обычно в форме окружности диаметром 100-150 м.), который одновременно служит для возбуждения сигнала ЯМР от подземных вод и является антенной для регистрации этого сигнала. Возбуждение производится переменным током амплитудой от единиц до сотен ампер с частотой, соответствующей ларморовской частоте прецессии протонов в земном магнитном поле в месте измерения (1-3 кГц). Длительность импульса возбуждения обычно составляет десятки миллисекунд. По окончании каждого импульса вектор магнитного момента протонов подземной воды отклоняется от равновесного положения и, прецессируя вокруг направления земного магнитного поля с резонансной частотой, наводит ЭДС индукции в антенне - ЯМР-сигнал. Величина отклонения вектора магнитного момента от равновесного положения зависит при прочих равных условиях от продолжительности и амплитуды импульса возбуждения, что позволяет изменять параметры импульса селективно возбуждать протоны воды, находящиеся на различной глубине.

По полученной зависимости начальной амплитуды сигнала от площади возбуждающего импульса (длительность импульса, умноженная на амплитуду возбуждающего тока) путем решения обратной задачи можно получить распределение по глубине залегания и мощность водоносных

горизонтов. При этом стоит отметить, что регистрируется только сигнал от молекул свободной воды, способной к гидродинамическому перемещению, а молекулы воды, связанные со стенками пор и лед из-за коротких времен спиновой релаксации не регистрируются. Это и требуется при изучении водоносных горизонтов. Данный метод позволяет обнаруживать и определять параметры водоносных слоев (кровлю, подошву, процентное содержание воды) до глубины порядка 100 м. Кроме того, по времени релаксации сигнала свободной индукции T_2^* можно оценить величину пор водосодержащих пластов.

С помощью поверхностного ЯМР-зондирования в течение нескольких последних лет авторами был проведен ряд поисковых исследований на территории Новосибирской области, Алтайского края и республики Алтай, где открыто несколько месторождений пресных подземных вод и проведены множественные тестовые полевые исследования, направленные на улучшение методики измерения. В качестве примера исследований на рисунке 1 приведен график начальной амплитуды сигнала в зависимости от площади возбуждающего импульса и его математическая обработка, дающая распределение процентного содержания воды по глубине и хорошо согласующаяся с данными бурения. Измерения были выполнены вблизи пос. Мезенцево Алтайского края.

Несмотря на очевидные преимущества прямой регистрации подземных вод, ЯМР-зондирование имеет определенные ограничения. Основным из них является крайне высокая чувствительность к электромагнитным помехам. Начальная амплитуда наведенного ЯМР сигнала в антенне диаметром 100-150м обычно составляет 50-500 нВ, в то время как амплитуда наведенных электромагнитных помех может быть на 6-7 порядков больше.

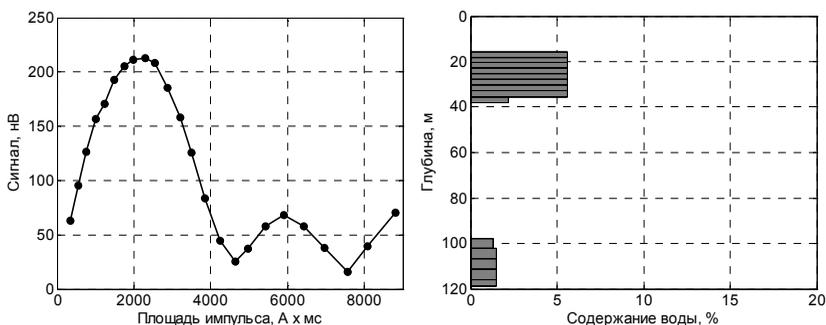


Рис. 1. График начальной амплитуды ЯМР-сигнала в зависимости от площади импульса возбуждения (слева) и результаты решения обратной задачи (справа).

Полученные данные усреднялись по результатам 100 накоплений. Использовалась антенна диаметром 150 м. Частота ЯМР-зондирования составляла 2517,5 Гц. При сопоставлении с данными бурения, параметры расположения

верхнего водоносного горизонта воспроизводятся с точностью 10%, а нижнего - 15%

Наибольшее ограничение для метода ЯМР-зондирования с точки зрения электромагнитных помех представляют промышленные силовые сети и установки в связи с тем, что спектральная мощность гармоник промышленной сети в частотной области наводимых ЯМР-сигналов (1-3 кГц) достаточна велика. Особую трудность представляет собой ситуация, когда частота ЯМР-сигнала совпадает или очень близка с частотой гармоники силовой сети. Тем не менее, и в условиях повышенного уровня электромагнитных помех при применении комплексных решений для улучшения соотношения сигнал/шум в ряде случаев удается добиться приемлемых результатов ЯМР-зондирования [3].

При интерпретации результатов поверхностного ЯМР-зондирования важно учитывать следующие моменты. Во-первых, при решении обратной задачи по восстановлению профиля водонасыщенных пород обычно используется модель однородных горизонтальных слоев. В случае, когда водоносные горизонты приурочены к зонам тектонической деятельности, разломам и т. п., эта модель может приводить к значительным погрешностям. Во-вторых, для более точного восстановления гидрогеологического разреза необходимо учитывать удельное электрическое сопротивление среды, если его величина составляет менее $50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ [4].

Для реализации метода поверхностного ЯМР-зондирования в ИХКГ СО РАН А.Г. Семеновым с соавторами был разработан ЯМР-томограф под названием «Гидроскоп» [5]. Последние модификации этого прибора выполнены на современном техническом уровне и имеют несколько вариантов исполнения, один из которых ориентирован на проведение научных исследований. Он имеет расширенные возможности задания параметров, может работать в режиме многоимпульсной последовательности возбуждения, что позволяет, например, получать сигналы «эхо» и измерять времена релаксации T_1 и T_2 . В настоящее время авторами разрабатывается многоканальная версия прибора «Гидроскоп», которая дополнит методику новыми принципиальными возможностями.

В итоге можно отметить, что поверхностное ЯМР-зондирование можно эффективно использовать вдали от промышленных силовых объектов как метод прямого поиска подземных водоносных горизонтов (или наоборот их отсутствия). Его использование может быть особо востребовано там, где из-за крайне слабой электропроводности другие методы разведки водоносных горизонтов могут быть неэффективны (например, при поиске водяных линз в условиях вечной мерзлоты). Наибольший экономический эффект от использования этого метода может быть достигнут при площадных съемках в отсутствие электромагнитных помех. Обычно время на одно измерение в этих случаях не превышает 2-х часов, а объема получаемой

информации в большинстве случаев бывает достаточно для практических применений.

Авторы работы благодарят С.П. Епихина, В.Д. Александрова и М.А. Бизина за оказанную помощь при выполнении полевых исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке СО РАН (экспедиционные гранты 2009-2011 гг.).

Литература

1. Walsh D.O. Multi-channel surface NMR instrumentation and software for 1D/2D groundwater investigations // J. of Appl. Geophys. – 2008. – V. 66. – P. 140-150.
2. Weichmann, P., Lavelly, E., Ritzwoller, M. Theory of surface nuclear magnetic resonance with applications to geophysical imaging problems // Phys. Rev. E. – 2000, Vol. 62 (1). – P. 1290-1312.
3. Trushkin O.V., Shushakov O.A., Legchenko A.V. The potential of a noise-reducing antenna for surface NMR groundwater surveys in the earth's magnetic field // Geophysical Prospecting. – 1994. – V. 42. – P. 855-862.
4. Шушаков О.А., Легченко А.В. Протонный магнитный резонанс от подземной воды с учетом электропроводности среды // Геология и геофизика. – 1994. – Т. 35. – № 3. – С. 130-136.
5. Semenov A.G., Schirov M.D., Legchenko A.V., Burshtein A.I., Pusep A.Yu. Device for measuring the parameter of underground mineral deposit. – 1989. G.B. Patent 2198540B.

ИМИТАЦИОННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В БАССЕЙНАХ ГОРНЫХ РЕК

*Ю.Б. Кирста, А.В. Пузанов, О.В. Ловцкая
ИВЭП СО РАН, Барнаул, kirsta@iwep.ru*

SIMULATION MATHEMATICAL MODEL OF SUSPENDED MATERIAL DRAIN IN MOUNTAIN RIVER BASINS

*Yu.B. Kirsta, O.V. Lovtskaya, A.V. Puzanov
IWER SB RAS, Barnaul, kirsta@iwep.ru*

Предложен метод построения математических моделей речного стока взвешенных веществ. На примере средних и малых рек Алтае-Саянской горной страны получена универсальная модель сезонной и межгодовой динамики стока. Предложен удобный критерий для оценки адекватности математических моделей.

The method of mathematical models construction is proposed to describe suspended matter discharge by mountain rivers. Using mid-size and small rivers of Altai-Sayan mountain country as a case study, the universal model of seasonal and long-term discharge dynamics is developed. A well-behaved criterion is put forward to assess the mathematical model adequacy.

Разнообразные природно-климатические условия Алтае-Саянской горной страны обуславливают большие различия в формировании гидрохимического стока рек, включая сток взвешенных веществ (ВВ). К влияющим факторам можно отнести орографическую и климатическую неоднородность территории, различия в почвенно-растительном покрове и вертикальную поясность, сложную гидрогеологическую структуру речных бассейнов, питание рек как осадками, так и ледниками, сложное гидрографическое строение речной сети и др. При этом выделение и анализ влияния на сток ВВ каждого фактора по отдельности с помощью экспериментальных методов крайне затруднены.

В предлагаемом исследовании используется метод системно-аналитического моделирования (САМ) [1-2]. Основу САМ составляет определение структуры и параметров имитационной модели через решение обратной задачи оптимизационными методами. Метод позволяет избежать затратных специализированных исследований, заменяя их архивными данными многолетних наблюдений за динамикой исследуемой характеристики – в нашем случае это концентрация ВВ в водном стоке.

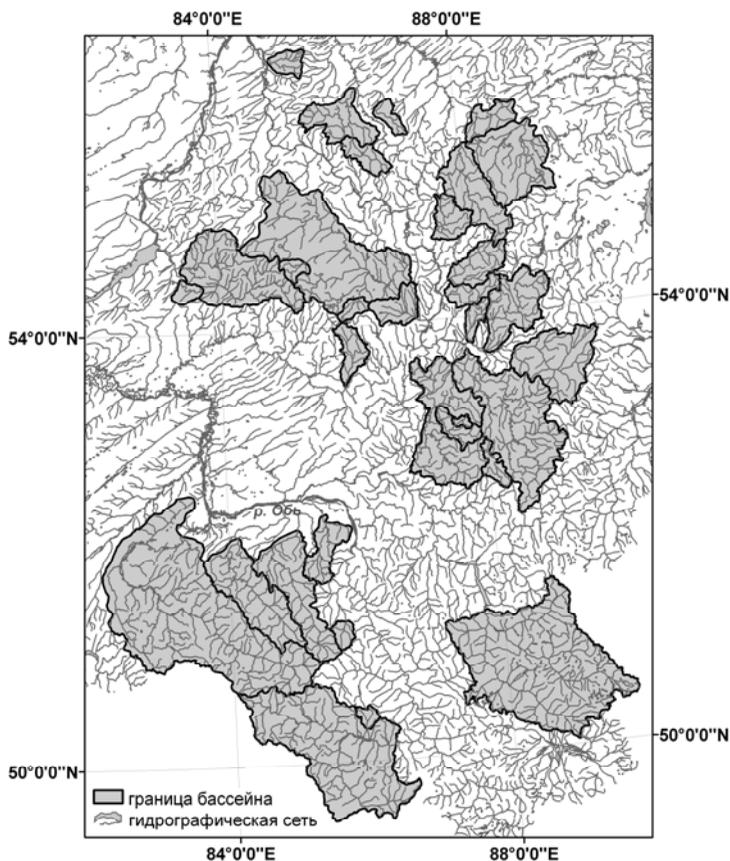


Рис. 1. Карта-схема расположения 33 модельных речных бассейнов Алтае-Саянской горной страны

С целью выполнения САМ стока ВВ были выбраны 33 речных бассейна Алтае-Саянской горной страны (рис. 1), для которых ранее была разработана имитационная модель водного стока [3]. Ограниченное количество ежегодных наблюдений за гидрохимическим стоком Гидрометеорологической службой России определило выбор четырех характерных гидрологических периодов/сезонов: зимняя межень (XII-III месяцы), весенне-летнее половодье (IV-VI), летняя межень (VII-VIII), осенняя межень с возможными паводками при дождях (IX-XI).

Температуры воздуха и осадки характеризуются нами через доли/проценты от их среднеголетних месячных значений. Для таких нормированных температур и осадков с помощью разработанного метода обобщения получена единая для всей Алтае-Саянской горной страны помесечная и межгодовая динамика [4]. Показано, что эта динамика может

использоваться в качестве адекватной площадной характеристики изменения метеорологических условий в условиях гор [3].

Сток ВВ равен произведению концентрации ВВ на водный сток. Последний рассчитывается по имитационной модели водного стока, разработанной для рек Алтае-Саянской горной страны [3]. Он нормирован на его среднегодовое сезонные значения по каждому бассейну. Нормированные температуры, осадки и водный сток требуют аналогичной нормировки и для концентраций ВВ. Поэтому наблюдаемые среднесезонные концентрации ВВ делятся на среднее по всем бассейнам среднегодовое среднесезонное значение.

В результате САМ найдены имитационные уравнения, обеспечивающие наименьшую квадратичную невязку между расчетными и наблюдаемыми концентрациями ВВ в стоке для 33 анализируемых речных бассейнов. В уравнениях используются по 20 параметров для каждого из четырех гидрологических сезонов, расчет по которым ведется независимо друг от друга. Учитываются сезонные осадки, средний поперечный уклон и ландшафтная структура бассейнов [5]. Уравнения стока ВВ имеют вид:

$$Q^i \times C^i = \sum_k a_k \times Q_k^i \times H(c_1, c_1, 1, 1, c_2, c_3, P) \times \\ \times H(c_4, c_4, 1, 1, c_5, c_6, K^i) + b \times q^i \quad (1)$$

где $Q^i \times C^i$ – сток ВВ; Q^i – расчетный среднесезонный водный сток для замыкающего створа бассейна с номером $i=1 \div 33$ в текущем году; C^i – наблюдаемые концентрации ВВ в речном стоке; P – обобщенные по территории Алтае-Саянской горной страны нормированные осадки за IX-XI месяцы предшествующего года для 1-го сезона или за IV-VI, VII-VIII, IX-XI месяцы для 2, 3, 4-го сезонов, соответственно; a_k – параметры, отвечающие постоянной среднесезонной концентрации ВВ в расчетном среднесезонном водном стоке Q_k^i , формируемом k -й группой геосистем за счет осадков P , $k=1 \div 13$; b – параметр, условно отвечающий постоянной среднесезонной концентрации ВВ в расчетном приходящем (или, наоборот, уходящем) среднесезонном подземном водном стоке q^i , который формируется в бассейне i почвенно-грунтовыми водами и водами зон трещиноватых пород; K^i – средний уклон бассейна i ; H – кусочно-линейная функция (2); $c_1 \div c_6$ – параметры, отражающие влияние на сток ВВ осадков P и уклона K^i .

Функция H в (1) задается выражением:

$$H(X_1, X_2, Y_1, Y_2, Z_1, Z_2, X) = \begin{cases} Y_1 + Z_1(X - X_1), & \text{если } X < X_1 \\ \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}(X - X_1) + Y_1, & \text{если } X_1 < X < X_2, X_1 \neq X_2 \\ Y_2 + Z_2(X - X_2), & \text{если } X \geq X_2 \end{cases} \quad (2)$$

где $X1, X2, Y1, Y2, Z1, Z2$ – параметры; X – какая-либо переменная модели. H является непрерывной кусочно-линейной функцией из трех произвольных линейных фрагментов. Она используется для аппроксимации различных зависимостей между переменными путем изменения значений ее параметров.

САМ требует, чтобы массив фактических данных о динамике анализируемого процесса на порядок превышал число параметров в уравнениях модели [1, 3]. Исходя из имеющихся 350 среднесезонных концентраций ВВ по 33 речным бассейнам, модель не может иметь более 35 параметров для каждого гидрологического сезона. В свою очередь, число бассейнов составляет 33, что допускает только 3 параметра при описании влияния конкретных характеристик бассейнов (уклона, площади и др.) на сток ВВ. Поэтому кусочно-линейная функция H может включать только два линейных фрагмента. Данное условие реализуется в (2) как зависимость $H(X1, X1, 1, 1, Z1, Z2, X)$.

Степень адекватности модели оценивается с помощью критерия [3-4]:

$$A = S_{\text{разн}} / \sqrt{2} S_{\text{набл}}, \quad (3)$$

где A – критерий адекватности; $S_{\text{разн}}$ – стандартное (среднеквадратичное) отклонение для разности сравниваемых расчетного и наблюдаемого рядов, $S_{\text{набл}}$ – стандартное отклонение для наблюдаемого ряда, $\sqrt{2}$ – принятый множитель. При превышении порогового значения $A = 1/\sqrt{2} = 0,71$ модель или применяемый метод расчета становятся неадекватными, и вместо них целесообразно использовать просто среднее значение характеристики.

Вместе с имитационной моделью водного стока для рек Алтае-Саянской горной страны [3] полученные уравнения (3) составляют полную имитационную модель стока ВВ. Критерий ее адекватности A по (3) в среднем по сезонам составляет 0,6. Для используемых в (1) обобщенных нормированных осадков, которые должны давать существенный вклад в погрешность расчетов, критерий A равен 0,62. В свою очередь, имитационная модель водного стока имеет адекватность $A \approx 0,6$. Учитывая правила сложения дисперсий, погрешность разработанной модели стока ВВ должна быть больше погрешностей расчета как обобщенных осадков, так и водного стока. Мы же получили для нее $A=0,6$, что совпадает с адекватностью расчета водного стока, являющегося лишь одним из входных факторов. Отсюда можно сделать вывод, что уравнения (1) с высокой степенью адекватности описывают интегральные гидрохимические процессы в речных бассейнах и дают малый собственный вклад в общую погрешность расчетов стока ВВ.

В работе использовались результаты исследований междисциплинарного интеграционного проекта № 70 фундаментальных исследований СО РАН на 2012-2014 гг. и гранта РФФИ 12-05-98068-р_сибирь_a.

Литература

1. Кирста Ю.Б., Кирста Б.Ю. Информационно-физический закон построения эволюционных систем. Системно-аналитическое моделирование экосистем. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2009. – 270 с.
2. Kirsta Yu.B. System-analytical modelling – Part I: General principles and theoretically best accuracies of ecological models. Soil-moisture exchange in agroecosystems / Yu.B. Kirsta // Ecol. Modelling. – 2006. – V. 191. – P. 315-330.
3. Кирста Ю.Б., Пузанов А.В., Ловцкая О.В., Лубенец Л.Ф., Кузник Я.Э., Пахотнова А.Ю. Имитационная математическая модель стока средних и малых рек для горных территорий // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – в печати.
4. Кирста Ю.Б. Пространственное обобщение климатических характеристик для горных территорий // Мир науки, культуры, образования. – 2011. – № 3 (28). – С. 330-337.
5. Кирста, Ю.Б., Лубенец, Л.Ф., Черных, Д.В. Типизация ландшафтов для оценки речного стока в Алтае-Саянской горной стране // Устойчивое развитие горных территорий. – 2011. – №2(8). – С. 51-56.

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПРИПЛОТИННОЙ ЧАСТИ КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕПЛООВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЕРМСКОЙ ГРЭС

А.Б. Китаев, В.М. Носков

Пермский государственный национальный исследовательский университет

FORMATION OF TEMPERATURE REGIME OF DAMB PART KAMSKOE RESERVOIR UNDER INFLUENTS WARM SOIL FROM PERM WARM STATION

A.B. Kitaev, V.M. Noskov

Perm State National Research University

Исследовано влияние теплового загрязнения от тепловой электростанции на термический режим водохранилища в летний и зимний периоды.

The article is devoted by investigation of influents warm soil from warm station on thermal régime of reservoir in summer and winter period.

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

Рассматриваемый участок входит в третий гидрографический район водохранилища и находится в 65 км выше плотины Камской ГЭС. Основные закономерности в формировании термики рассматриваемого района аналогичны закономерностям для всего водохранилища, т.е. периоды термического цикла характеризуются гомотермией в периоды весеннего нагревания и осеннего охлаждения, прямой (в период летнего нагревания) и обратной стратификацией (в период зимнего охлаждения). Температура воды в поверхностном слое во время наибольшего прогрева достигает 21-23°. В это же время на русловой вертикали в придонном горизонте температура воды составляет 15-18°. В зимний период величина разности между поверхностными и придонными температурами очень незначительна и составляет 0,2° (табл. 1). В морфометрическом отношении III гидрографический район занимает особое положение: объем его глубоководной зоны примерно в десять раз больше, чем у других районов. Это оказывает влияние на формирование его термического режима.

Таблица 1 – Средняя месячная температура поверхностного слоя воды и морфометрические показатели районов Камского водохранилища, 1957-1985 гг.

Район	Температура воды по месяцам						Объем водной массы, км ³			
		I	II	III	IV	V	района	глубоко водной зоны	мелководной зоны	средняя глубина района, м
I	6,8	14,8	19,8	17,3	11,3	3,4	1,44	0,048	1,40	3,4
II	7,3	15,3	20,0	17,9	12,2	4,5	5,37	0,113	5,26	6,2
III	6,0	14,8	19,7	18,7	14,1	7,1	2,73	0,961	1,77	15,0

В период весенне-летнего нагревания здесь теплообменные процессы идут медленнее, чем в других районах, и это подтверждается величинами теплового баланса (табл. 2), поэтому температура воды в этот период ниже, чем в других районах. В период осеннего охлаждения наблюдается противоположная картина. Основную долю в приходной части теплового баланса составляет радиационный баланс. Это относится ко всем месяцам безледоставного периода кроме октября, когда радиационный баланс имеет отрицательное значение. Потери тепла на испарение – наибольшая величина

среди расходных составляющих теплового баланса. Она изменяется от $-2,03$ (в мае) до $-6,53$ ккал/см²мес. (в августе).

Следующим по величине членом теплового баланса является турбулентный теплообмен с атмосферой, который изменяется от $+1,77$ (в мае) до $-3,22$ ккал/см²мес. (в октябре). Наименьшим по величине членом является теплообмен с грунтами дна. Его значения не превышают 1 ккал/см²мес. В довольно широких пределах изменяется теплозапас водной массы гидрографического района (величина результирующего члена теплового баланса): от $+11,1$ (в мае) до $-9,51$ ккал/см²мес. (в октябре). Результаты расчета теплового баланса приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Тепловой баланс III района Камского водохранилища, ккал/см² мес.

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

Примечание: B – радиационный баланс; Q_{гр} – теплообмен с грунтами дна; LE – теплообмен при испарении и конденсации; P – турбулентный теплообмен с атмосферой; W – изменение теплозапаса водных масс района; H – невязка теплового баланса.

Источником теплового загрязнения Камского водохранилища является Пермская ГРЭС, расположенная на левом берегу водохранилища в 5 км выше г. Добрянки и в 65 км от плотины Камской ГЭС. Забор воды осуществляется через подводящий канал в 2,5 км выше по течению, сброс – через отводящий канал в 4 км от промплощадки ниже по течению. Запланированная мощность ГРЭС – 4 млн 800 тыс кВт (6 агрегатов по 800 тыс. кВт каждый). Циркуляционный расход воды, забираемой на охлаждение конденсаторов, будет изменяться в зависимости от сезона от 136 м³/с (в осенне-зимний период) до 142 м³/с (в весенне-летний). Длина подводящего канала до циркуляционной насосной станции – 2,3 км, длина отводящего канала – 2,4 км. Водоснабжение ГРЭС осуществляется по прямоточной системе. После пуска первых агрегатов Пермской ГРЭС в термическом и ледовом режиме как участка водохранилища в зоне ГРЭС, так и всего морфометрического третьего района вплоть до плотины произошли изменения, которые проявляются круглый год.

В безледоставный период на участке водохранилища в зоне ГРЭС образуются зоны теплового загрязнения и теплового влияния, где

температура воды выше естественной на 3° (в случае теплового загрязнения) и на $0,1^{\circ}$ до $2,9^{\circ}$ (в случае теплового влияния). Анализ материалов показывает, что площади зон теплового влияния и загрязнения в наибольшей степени зависят от направления, скорости и продолжительности действия ветра. Так в 1986 г. наибольшие площади зоны теплового влияния наблюдались при ветрах северной четверти ($5,5$; $8,7$ км²). В 1991 году количество работающих блоков увеличилось до 3, это привело к увеличению площадей теплового загрязнения от $0,10$ - $0,14$ км² до $0,12$ - $2,5$ км². Но в еще большей степени увеличились площади теплового влияния: от $4,8$ - $8,7$ до $18,0$ км².

На рисунках 1 и 2 представлены схемы наиболее показательного распределения полей температур воды и зон теплового загрязнения и теплового влияния на акватории Камского водохранилища в районе Пермской ГРЭС по данным специализированных наблюдений 30 июля и 14 сентября 1991 года. В первом случае ось зон теплового влияния и загрязнения направлена на юг и ЗЮЗ ветер, непродолжительно действовавший, еще не успел сформировать ветровое противотечение. Поэтому зоны теплового загрязнения и влияния направлены вниз к плотине. Во втором случае зафиксирован случай затока теплых вод в водозаборное сооружение. Это произошло вследствие действия южных и юго-западных ветров, поскольку все сутки 14 сентября и все предыдущие сутки дул ветер южной четверти. Зоны теплового влияния и загрязнения под воздействием ветрового течения распространились вверх по течению и достигли подводящего канала. Попадание теплых вод в водозаборное сооружение – явление нежелательное, поскольку может произойти перегрев конденсаторов турбин и снижение КПД станции.

Еще большие изменения в термическом и ледовом режиме происходят зимой в период ледостава. Наблюдения в канале как при одном, так и при двух работающих блоках показали, что температура воды в нем в течение зимнего периода почти не изменяется (в отличие от летнего периода) и составляет 8 - 9°C , что на 2 - 3° выше проектной. Подогретая вода охлаждается до температуры наибольшей плотности и под влиянием проточного течения распространяется вниз к плотине. В распределении температуры по глубине наблюдается обратная стратификация. В марте отмечается воздействие теплых вод на ледовый покров снизу. За месяц толщина льда изменяется на 8 см, причем высота снежного льда увеличилась на 1 см, а кристаллического – уменьшилась на 9 см. Наблюдения показывают, что изменения в ледо-термическом режиме вследствие значительного по сравнению с летом проточного течения, прослеживаются до плотины.

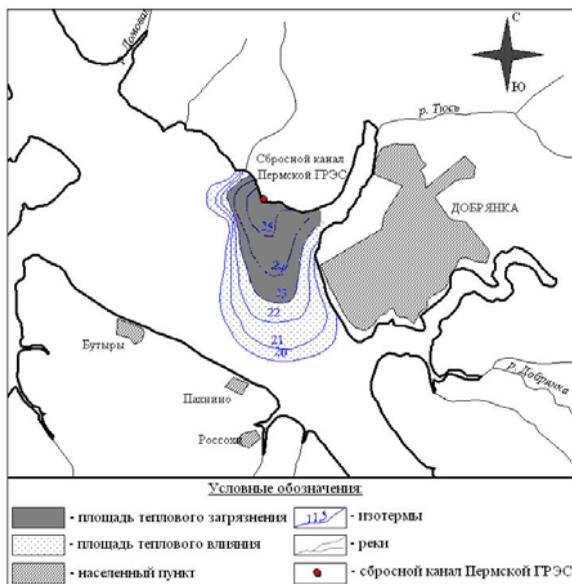


Рис. 1. Схема распределения поля температур и зон теплового загрязнения и теплового влияния на акватории Камского водохранилища в районе Пермской ГРЭС 30 июля 1991 г. ($F_{\text{загр}}=2,5 \text{ км}^2$; $F_{\text{вл}}=9,5 \text{ км}^2$; ветер ЗЮЗ 5 м/с; $t_{\text{сб}}=27,2 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{\text{заб}}=19,6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

Результаты наблюдений за температурой воды на вертикали в 50 км ниже водовыпуска ГРЭС показывают, что при бесперебойной работе ГРЭС при двух и трех работающих блоках температура воды у дна достигает 0,8-1,4 $^\circ\text{C}$, а до ввода в эксплуатацию ГРЭС температура воды у дна в среднем составляла 0,5-0,6 $^\circ\text{C}$. Это приводит к увеличению температуры сбрасываемой воды через турбины Камской ГЭС и увеличению длины полыньи в нижнем бьефе. Изменяется и структура и толщина ледового покрова: высота кристаллического льда при стаивании снизу может уменьшиться до нуля, но это компенсируется за счет нарастания снежного льда сверху.

В районе сброса подогретых вод образуется полынья форма и размеры, которой зависят от таких факторов, как температура воздуха, режим уровня и морфометрия участка. Повышенная проточность водохранилища в период зимней сработки также влияет на форму полыньи, в марте-апреле она ориентирована вниз по течению. При одном работающем энергоблоке площадь полыньи составляла 0,28-5,54 км 2 , при двух работающих блоках – 0,82-6,58 и при трех – 0,49-8,68 км 2 . На всем протяжении от ГРЭС до плотины Камской ГЭС в русловой зоне происходит уменьшение толщины льда за счет стаивания с нижней поверхности и изменение структуры с преобладанием снежного льда.

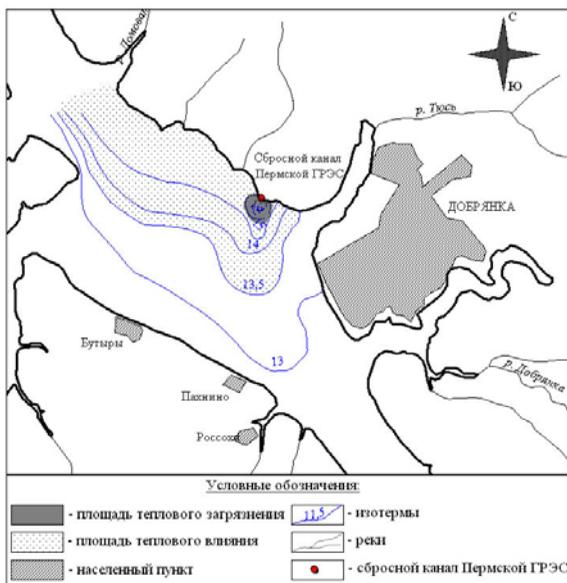


Рис. 2. Схема распределения поля температур и зон теплового загрязнения и теплового влияния на акватории Камского водохранилища в районе Пермской ГРЭС 14 сентября 1991 г. ($F_{загр} = 0,5 \text{ км}^2$; $F_{вл} = 18 \text{ км}^2$; ветер ЮЗ 5 м/с; $t_{сб} = 19,6 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{аб} = 15,5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

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

УЧЁТ ЛАНДШАФТНЫХ УСЛОВИЙ В МЕТОДЕ ГИДРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РАСЧЁТОВ

С.Г. Копысов¹, А.В. Карпов²

¹ – Институт мониторинга климатических и экологических систем СО
РАН

² – Томский государственный университет

CORRECTION FOR LANDSCAPE CONDITIONS IN THE HYDROCLIME SIMULATION METHOD

S.G. Kopysov¹, A.V. Karpov²

¹ – Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS,
wosypok@mail.ru

² – Tomsk State University

Предлагается методика определения безразмерного параметра, отражающего ландшафтные условия формирования стока в методе гидроклиматических расчётов. Используя данную методику, были рассчитаны гидрологические характеристики речных водосборов с разной степенью заболоченности

A technique to define a dimensionless parameter, demonstrating landscape conditions of drain formation in the hydroclime simulation method, is proposed. Using this technique, hydrological characteristics of landscapes at various stages of watershed swamping were simulated.

Длительный процесс заболачивания территории Западно-Сибирской низменности привел к тому, что на большей части её площади пригодными для сельско- и лесохозяйственного использования являются только узкие хорошо дренированные участки. Изучение гидроклиматических последствий заболачивания требует бассейнового подхода и соответствующего метода расчёта элементов водного баланса. Использование любых подробных моделей водного баланса упирается в проблему отсутствия необходимых исходных данных. Эту проблему в ближайшее время решить можно. Однако очень часто в основе большинства моделей лежат уравнения, которые далеки от реальных природных (нелинейных) процессов, которые они должны описывать.

Известно, что существо нелинейных процессов определяется борьбой двух противоположных начал. Этот синергетический принцип ещё в начале XX века был положен Э.М. Ольдекопом в основу уравнения для расчёта коэффициента стока воды:

$$\eta = 1 - th \frac{Z_M}{X}, \quad (1)$$

Во второй половине XX века В.С. Мезенцев на идеях Э.М. Ольдекопа разработал метод гидроклиматических расчётов. В этом методе испарение определяется гидроклиматическими ресурсами испарения (Z_M), суммарным увлажнением деятельной поверхности (H), состоящим из суммы исправленных атмосферных осадков (KX) и изменения влажности метрового (деятельного) слоя за расчётный период ($W_1 - W_2$). При этом формула для расчёта стока воды записывается в виде [1]:

$$Y = H - Z = (KX + W_1 - W_2) - Z_M \cdot \left[1 + \left(\frac{KX + W_1 - W_2}{Z_M} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (2)$$

где n – отражает влияние физико-географических факторов (ландшафтных условий) на процессы испарения и стока.

Исходя из того, что в природе степень увлажненности деятельной испаряющего почвенного слоя находится на уровне полной соразмерности с теплоэнергетическими ресурсами, В.С. Мезенцевым получено следующее уравнение [2] для расчёта данного параметра в зависимости от коэффициента оптимального стока (η_0):

$$n = \frac{-0.301}{\lg\left(1 - \frac{Y_0}{H_0}\right)} = \frac{-0.301}{\lg(1 - \eta_0)} \quad (3)$$

Выражая условия формирования стока через коэффициент шероховатости, например n_M по Манингу, и через средний уклон водосборной площади i , можно зависимость параметра n от них представить в виде [1]:

$$n = \frac{3 + n_M}{1 + i} \quad (4)$$

При этом учитываются реальные пределы изменения среднего уклона $0 \leq i \leq 2$ и $0,02 \leq n_M < 1$, а также вероятные пределы параметра $1 \leq n \leq 4$ [1].

Годовую величину водного эквивалента теплоэнергетических ресурсов испарения (мм/год) можно рассчитать по эмпирической формуле Карнацевича (1991 год):

$$Z_m = 7 \cdot \sum t_{cp.мес > 0^\circ C} + 160 \text{ мм/год}, \quad (5)$$

где $\sum t_{cp.мес > 0^\circ C}$ – сумма положительных средних месячных температур воздуха за год.

Если известны элементы водного баланса для расчётного бассейна реки, то параметр ландшафтных условий n можно легко определить с помощью функции подбора параметра. К элементам водного баланса

относятся: (KX) – исправленные осадки, Y – сток воды, Z_M – эквивалент теплоэнергетических ресурсов испарения и величина испарения – Z , определенная по разности величины осадков на водосборе и стока с него.

Все эти величины связаны между собой в методе гидроклиматических расчётов (формула 2). Поэтому вся задача сводится к поиску такого параметра n , чтобы величина измеренного стока соответствовала величине рассчитанного стока. Для этого можно воспользоваться функцией подбора параметра в окне сервис Microsoft Excel.

Таблица 1 – Параметр ландшафтных условий подобранный по данным гидрометеорологических наблюдений

Параметр	Река Андарма – с. Паньчево	Река Бакчар – с. Польшанька	Река Бакчар – с. Гореловка
F , км ²	2330	2040	6610
расчетный период, г.	1951-97	1974-97	1961-97
KX , мм	574	574	574
Z_M , мм	642	642	638
Y , мм	90	69	87
Z , мм	464	505	486
n	3,13	3,89	3,25

Параметр ландшафтных условий можно определить по гидрографическим характеристикам бассейнов рек в результате анализа крупномасштабных топографических карт с использованием ГИС.

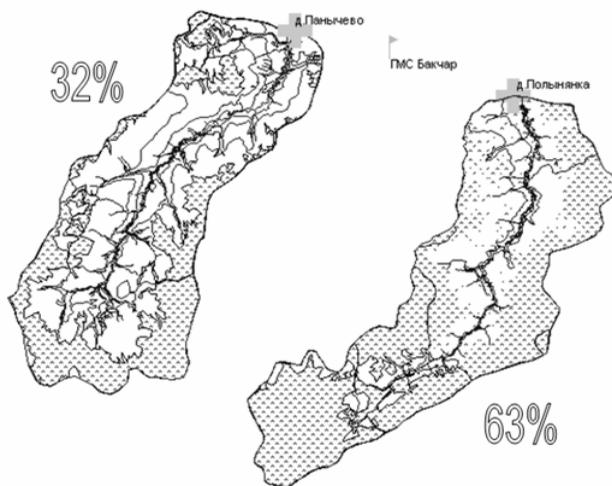


Рис.1. Гидрографическая сеть и заболоченность рек Андарма и Бакчар, %

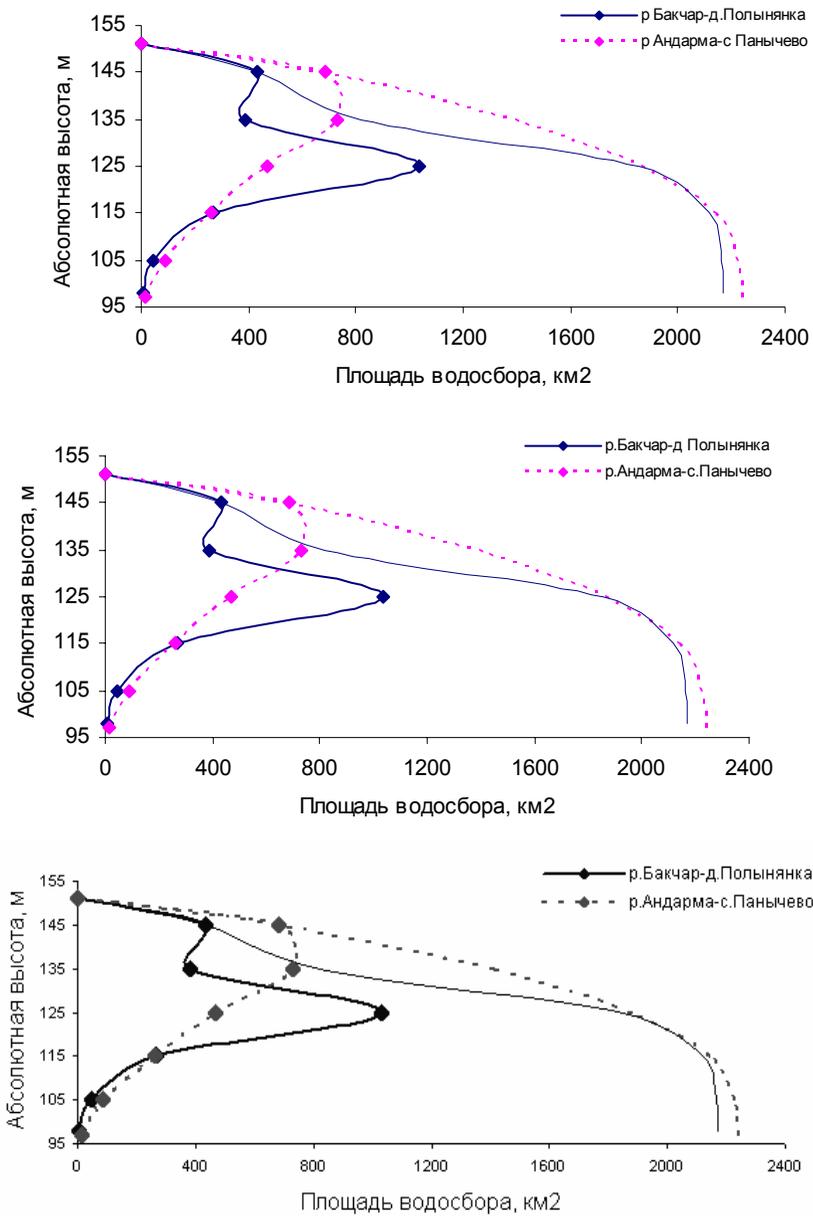


Рис. 2. Гипсографические кривые бассейнов рек Бакчар и Андарма

Для заболоченных территорий А.В. Мезенцев предлагал в формуле (4) для определения параметра ландшафтных условий вместо коэффициента шероховатости использовать заболоченность водосбора в долях от единицы:

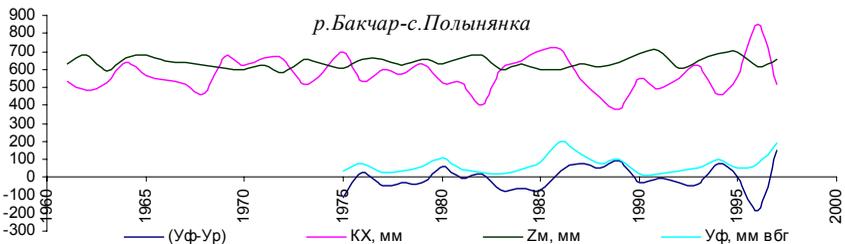
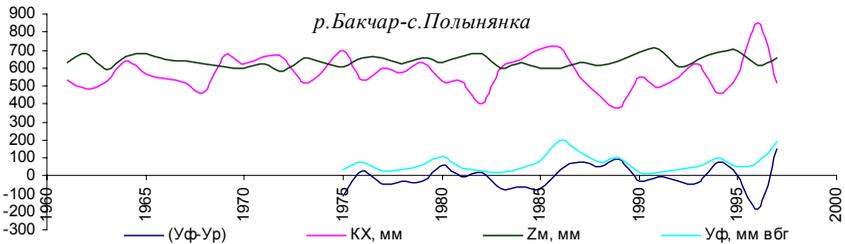
$$n = \frac{3 + f_{бол}}{1 + i} \quad (6)$$

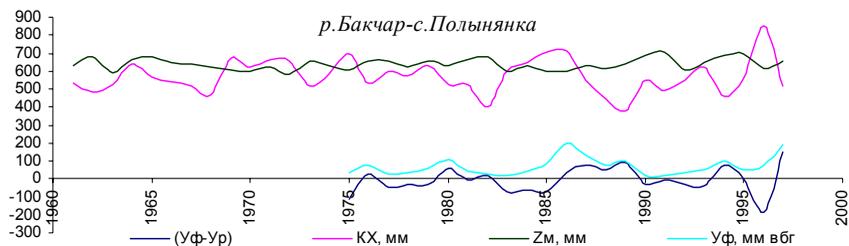
Вообще, коэффициент шероховатости тесно связан с крутизной и расчлененностью рельефа. Для учёта этих параметров А.М. Бефани рекомендовал использовать геоморфологический фактор стока:

$$\Phi = \frac{L_{скл}}{\sqrt{i}} \quad (7)$$

где $L_{скл}$ – длина склонов, м.

Необходимо отметить, что все многочисленные физико-географические факторы, определяющие сток воды и испарение, также определяют и гидрологические свойства почвы [3]. Это даёт нам возможность прогнозировать гидроклиматические последствия не только любой хозяйственной деятельности человека влияющей на состояние поверхности, но и климатических изменений.





Литература

1. Мезенцев В.С. Гидрологические расчеты в мелиоративных целях. Учебное пособие. – Омск, Изд-во Омского СХИ, 1982. – 84 с.
2. Мезенцев В.С. Расчеты водного баланса. Учебное пособие. – Омск: Изд-во Омского СХИ, 1973. – 80 с.
3. Копысов С.Г., Росновский И.Н. Гидрологические свойства почвы как результат взаимодействия климатических и ландшафтных условий // Современные проблемы генезиса, географии и картографии почв. Материалы V конференции с международным участием. – Томск: Томский госуниверситет, 2011. – С. 256-259.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АРАЛЬСКОМ МОРЕ НА ОСНОВЕ 3D МОДЕЛИ

В.Н. Кузин, Е.Н. Голубева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, kuzin@sscc.ru

MODELING OF THE HYDROTHERMODYNAMICAL PROCESSES IN THE ARAL SEA ON THE BASE OF 3D MODEL

V.I. Kuzin, E.N. Golubeva

Institute of Computational Mathematics & Mathematical Geophysics SB RAS

Следствием процессов, произошедших в Аральском море в результате использования вод Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи для орошения, является следующее: после высыхания Аральское море потеряло больше 60 % площади и около 80 % объема. Соленость возросла с уровня 10 г/л до значений более 100 г/л. Биопродуктивность моря была полностью разрушена. Настоящая работа посвящена обсуждению результатов численного моделирования по возможным сценариям сохранения и реабилитации западной части Аральского моря проводимым в рамках проекта INTAS REBASOWS на основе трехмерной модели гидротермодинамики Аральского моря ИВМиМГ СО РАН.

The Consequence of the processes in the Aral Sea as the result of the use of the waters Amu-Darya and Syr-Darya rivers for irrigation are the follows: in as the result of desiccation the Aral Sea lost more then 60 % of the area and about 80 % per sent of it volume. Salinity increased from 10 g/l to 110 g/l. The bio-productivity of the sea was destroyed totally. Present work is devoted to the discussion of the results of the numerical simmlations by the possible scenarios of the saving and rehabilitation of the Western part of the Aral Sea on the base of the 3D hydrothermodynamical Aral Sea ICM&MG SD RAS circulation model.

С начала 1960 годов вследствие существенного сокращения речного притока уровень воды в Аральском море снизился примерно на 24 метра, площадь моря уменьшилась на 75 %, объем воды в нем – на 90%, а средняя соленость в разных частях водоема возросла с 10 до 90-160 г/л, что привело к вымиранию многих видов живых организмов и другим негативным экологическим последствиям.

В кооперации с сотрудниками Научно-информационного центра Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии Центральной Азии (НИЦ МКБК) и Академии наук Узбекистана в рамках проекта ИНТАС-0511 (REBASOWS) была выполнена работа по изучению возможности восстановления экосистемы наиболее глубокой западной части Большого Арала. Для этого требуется воссоздать экологически приемлемые гидрохимические и гидрофизические условия в ней. Единственной возможностью решения такой задачи является прямая подача части остаточного стока р. Амударьи в этот водоем (его южную часть) с обеспечением его проточности для вымывания избытка солей.

Расчеты, выполненные с использованием специально разработанной трехмерной гидротермодинамической модели водоема, учитывающей плотностную стратификацию водной среды, дали возможность описать гидрологический, солевой и ледотермический режимы западной части Большого Арала. Расчеты показали, что при периодической подаче достаточно больших объемов речной воды к южной оконечности западной части Большого Арала можно осуществить опреснение вод рассматриваемой части моря с вымыванием солей транзитным течением и сбросом избытка воды по проливу, соединяющему западную и восточную части Большого Арала, в его восточную часть.

Моделирование гидрофизических процессов Аральского моря по трехмерной гидродинамической модели. В лаборатории математического моделирования гидросферы ИВМ и МГ (ВЦ) СО РАН разработана модель циркуляции Аральского моря, основанная на модификации численной модели циркуляции океана, являющейся базовой для проведения исследований в бассейне Мирового океана и окраинных морях [1-2].

Общая характеристика модели. Математическая модель основана на трехмерных полных нелинейных уравнениях динамики моря; температура и

соленость являются расчетными характеристиками; в модели имеется блок расчета распространения примеси; взаимодействие с атмосферой осуществляется через верхний квазиоднородный слой; модель учитывает возможность включения притоков и истоков на боковых границах; реализация модели основана на разделении баротропной и бароклинной составляющей движения; численная реализация модели основана на комбинации метода конечных элементов и метода расщепления по пространственным переменным; в модели используется триангулированная квазирегулярная В-сетка, позволяющая производить изменения конфигурации бассейна; используется версия модели в физических вертикальных координатах, так называемая z-координатная модель.

На границах притока задаются скорости, температура и соленость, на свободной поверхности – потоки тепла и влаги (из-за атмосферных осадков, испарения, ледообразования и снего-ледотаяния), рассчитанные по вертикальной одномерной модели для соответствующего сценария. Исходя из этого потока влаги, вычисляется поток соли на свободной поверхности. В данной версии трехмерной модели Аральского моря при формировании перемешанного слоя используется критерий «числа Ричардсона».

Входные данные и представление результатов расчетов. Входные данные модели следующие: на поверхности моря: напряжение трения ветра, рассчитываемое по значению ветра на уровне 2 м; потоки тепла и соли (влаги). На притоках через боковую границу: задается подача речной воды; температура и соленость подаваемой воды являются заданными. Начальное состояние: однородное распределение температуры и солености во всем бассейне. Результаты расчетов: трехмерные поля скорости, поля температуры и солености в сезонном цикле.

Источники данных. Среднемесячные климатические данные для расчета потоков тепла и соли; данные по расходу и солености подаваемой речной воды; среднемесячный климатический ветер (скорость и направление) для расчета напряжения трения ветра; данные реанализа NCEP/NCAR.

Постановка численных экспериментов и анализ результатов. Результаты моделирования по трехмерной модели, представленной в настоящей работе, можно трактовать как реализацию некоторых сценариев по изучению возможной реакции Аральского моря на варианты речного притока и атмосферного воздействия. В двух рассмотренных сценариях по моделированию циркуляции Аральского моря рассчитаны основные черты циркуляции, термодинамики и распределения солености.

Область Аральского моря для расчета трехмерных течений, термодинамических характеристик и распространения пресной воды построена на основе топографии дна. В численной модели использовалось

горизонтальная сетка с разрешением 500м*500м и неравномерная вертикальная сетка (34 уровня для максимальной глубины).

Расчеты выполнены для двух сценариев. В первом сценарии [3-4] задавался начальный уровень воды 26 м (Балтийская система отсчета) и постоянная по пространству начальная соленость 140 г/л. Возможность стока воды не предусматривалась, т.к. в течение расчетного периода уровень воды в рассматриваемом водоеме был ниже уровня седловины порога между западной и восточной частями моря. Во втором сценарии задавался более высокий начальный уровень воды 29 м БС и постоянная по пространству начальная соленость 110 г/л. Соответственно, в этом случае учитывался сток воды в восточную часть моря через расположенный на севере пролив. В обоих случаях расчет начинался с 1 января. Подача воды Амударья на юг западной часть Большого Арала соответствовала сценарию с интенсивным паводком. В начальный момент времени температура воды считалась постоянной по водоему и равной $-2,5^{\circ}\text{C}$.

Интегрирование модели проводилось в течение полутора лет с напряжением трения ветра полученного из его климатических значений. На каждом шаге рассчитывались поля скорости, температуры и изменения солености как результат речного притока. В дальнейших разделах представлены результаты данного численного эксперимента и обсуждаются некоторые особенности циркуляции, термодинамики и распространения пресной воды. Поскольку входные параметры по воздействию атмосферы и притоку пресной воды для двух экспериментов были идентичны, то картины циркуляции и термического режима были одинаковыми, и мы будем их обсуждать как типичное состояние для двух сценариев.

Циркуляция в западной части Большого Арала является весьма изменчивой. Хотя доминирующие ее картины и не обнаружены, можно выделить некоторые характерные черты. Во-первых, циркуляция чувствительна к ветру и в поверхностных слоях в основном определяется ветром. Однако в глубинных слоях в летний сезон существует хорошо выраженная термохалинная циркуляция. Ее изменение при заданном ветре в течение периода интегрирования может быть описано следующим образом. Воздействие ветра в марте формирует на поверхности некоторый вариант циклонической экмановской циркуляции (рис. 1). Направленный на север поток является более интенсивным в восточной части бассейна, в то время как в западной части движение направлено на юг и существенно менее интенсивно. Значения скоростей достаточно малы и достигают 20 см/с. Сохранение массы воды в бассейне осуществляется за счет вертикальной циркуляции в глубокой его части. В летний сезон (июль) не существует достаточно выраженной циклонической циркуляции. В глубинных слоях развивается некоторая циркуляция, вызванная взаимодействием термохалинных сил с рельефом дна и береговой линией (на рисунках не представлено). Осенью экмановский перенос в Восточной части на поверхности моря направлен на северо-восток. Высокая соленость понижает

точку замерзания до уровня $-6,5^{\circ}\text{C}$. Потому в течение зимнего сезона ледовое покрытие возникает в период меньше одного месяца, и блокирование ветра льдом не существенно.

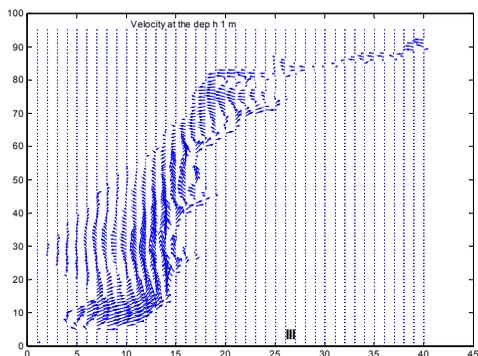


Рис. 1. Поле скорости на глубине 1 м: март, максимальная скорость – 20 см/с

Вариации термического режима в западной части Большого Арала находятся под влиянием сезонного температурного цикла. Результаты расчетов показывают, что термические условия в западной части делятся на два основных состояния: зимняя гомотермия и летняя стратификация. Начиная с однородной температуры в январе, проходя через период зимнего охлаждения в феврале, в марте в бассейне формируется стратификация, т.к. начинается прогрев верхних слоев. Летняя температура (июль) на поверхности достигает значения около 23°C , и стратификация по температуре составляет около 10°C с интенсивным термоклинном. Зимнее охлаждение вызывает плотностную конвекцию, которая приводит к гомотермии. Причем охлаждение происходит быстрее в мелководных зонах и медленнее в глубоких районах центральной части бассейна.

Распределение солености и распространение пресной воды. Начальное распределение солености для первого сценария сохранялось до мая, когда начался интенсивный приток речной воды. Пресная вода распространяется с юга на север до тех пор, пока интенсивная подача не прекращается. После этого в зимний сезон распределение солености становится однородным по вертикали вследствие плотностной конвекции со значением около 111 г/л, что меньше начального значения на 29 г/л. Линза пресной воды перемещается вблизи поверхности и управляется интенсивным течением вдоль восточного берега. Сечения вдоль меридиана от речного притока до берега подтверждают тот тезис, что пресная вода распространяется в поверхностном слое к северу и после зимней конвекции происходит ее равномерное распределение по вертикали. Поведение солености,

осредненной по всему бассейну, показывает, что стабилизация средней солености происходит в октябре, после того как прекращается интенсивный приток пресной воды.

Деминерализация бассейна во втором сценарии по сравнению с первым происходит другим образом. Сброс излишка соленой воды в восточную часть моря приводит к более интенсивному падению солености в течение расчетного периода. Значения солености на глубине 1 м представлены на рисунке 2. Видно, как фронт распресненной воды распространяется не на север, имея в некоторые периоды отклонения от зонального распределения, однако в финальный месяц расчетов приобретает зональное распределение со средним значением около 75 г/л. Меридиональные разрезы, характеризующие распространение вод ослабленной солености с юга на север от места притока представлены на рисунке 3. Из рисунков видно, что воды пониженной солености перемещаются в поверхностном слое моря, формируя ярко выраженный галоклин, который разрушается в период зимней конвекции, приводя к гомогенизации солености.

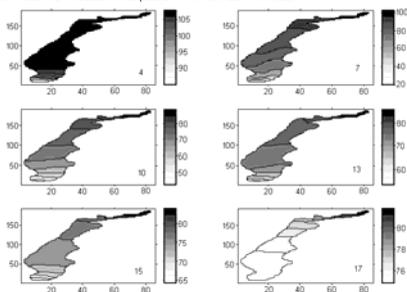


Рис. 2. Горизонтальное распределение солености на глубине 1 м (апрель, июль, октябрь, январь, март, май)

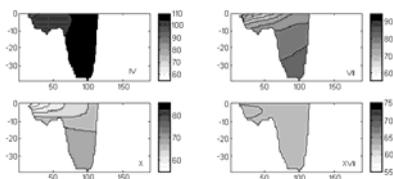


Рис. 3. Вертикальный разрез по меридиану от точки притока в западную часть (апрель, июль, октябрь, май)

Характерной особенностью этого численного эксперимента является более быстрое опреснение бассейна за счет сброса соленой воды через слив в северной части.

Заключение. На основе результатов расчетов двух сценариев можно сделать следующие выводы. Поверхностная циркуляция чувствительна к ветру и изменяется с изменением ветра. В летний сезон в глубинных слоях существует термохалинная циркуляция. Распределение температуры характеризуется двумя состояниями: наличием ярко выраженного термоклина летом и гомотермии – зимой, вызываемой конвекцией. Распространение пресной воды характеризуется следующими чертами: пресная вода распространяется с юга на север в поверхностном слое, управляемая основными течениями; однородное состояние солености

достигается только в зимний период посредством механизма температурной конвекции. Характерной особенностью численного эксперимента со сбросом соленой воды через северную часть бассейна в восточную часть Большого Аральского моря является более быстрое опреснение бассейна.

Таким образом, согласно выполненным расчетам, в случае подачи в западную часть Большого Арала достаточно большого объема пресной воды, превышающего величину эффективного испарения с его акватории, можно обеспечить вымыв солей из его западной части со сбросом излишка минерализованной воды в восточную часть.

Литература

1. Голубева Е.Н., Иванов Ю.А., Кузин В.И., Платов Г.А. Численное моделирование Мирового океана с учетом верхнего перемешанного слоя // *Океанология*. – 1992. – Т. 32. – № 3. – С. 395-405.
2. Кузин В.И. Метод конечных элементов в моделировании океанических процессов. – Новосибирск: Изд. СО РАН, ВЦ СО РАН.
3. Kuzin V.I., Golubeva E.N. Modeling of hydrodynamic and hydrophysical processes in the Aral Sea // Труды междунар. конгр.«GEO-Siberia», 2005.
4. Kuzin V.I., Golubeva E.N. Modeling of hydrophysical processes in the Aral Sea // *Bull. NCC, Series of Num. Model. in Atmosph., Ocean, and Env. Studies*. – 2005. – Iss. 10.

ОСОБЕННОСТИ ВИХРЕВОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ И ЭНЕРГЕТИКА ТУРБУЛЕНТНОСТИ В УСТОЙЧИВО СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ТЕЧЕНИЯХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

А.Ф. Курбацкий¹, Л.И. Курбацкая²

¹ – *Институт теоретической и прикладной механики им.*

С.А. Христиановича СО РАН

² – *Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

FEATURES OF EDDY MIXING AND ENERGETICS OF TURBULENCE IN STABLY STRATIFIED FLOWS OF ENVIRONMENT

A.F. Kurbatskiy¹, L.I. Kurbatskaya²

¹ – *Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk, RUSSIA, kurbat@itam.nsc.ru*

² – *Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk, RUSSIA, L.Kurbatskaya@ommgp.sccc.ru*

Некоторые особенности турбулентного вихревого перемешивания в геофизических течениях исследуются с привлечением мезомасштабной RANS-модели турбулентности. Поточное число Ричардсона (Ri_f) в переходный период течения к сильно устойчивому состоянию может вести себя немонотонно, возрастая с увеличением градиентного числа Ричардсона (Ri_g) до состояния насыщения ($Ri_g \simeq 1$), которое разделяет два различных турбулентных режима: сильного перемешивания и слабого перемешивания, причем в режиме слабого перемешивания ($Ri_g > 1$) импульс течения может поддерживаться распространяющимися внутренними гравитационными волнами. В сильно устойчивом атмосферном пограничном слое со струей низкого уровня показано, что генерируемая сдвигом турбулентность на нижней ветви струи носит перемежающийся характер.

Certain qualitative changes in turbulent eddy mixing in a stably stratified boundary layer (SBL) during transitional regimes towards stronger stratification are highlighted using numerical simulations with the improved RANS turbulence model. Behavior of turbulent eddy mixing coefficients for momentum and heat in this study is consistent with the representation that the flow can sustain propagating internal waves that can effectively transport momentum, but not heat. This behavior is in good agreement with observational results for stably stratified boundary layer flows.

Эта статья фокусируется на некоторых особенностях вихревого перемешивания, энергетике и перемежаемости турбулентности в устойчиво стратифицированных геофизических течениях. Поведение вихревых коэффициентов диффузии импульса и тепла в устойчиво стратифицированных сдвиговых течениях согласуется с представлением о поддержании импульса, но при распространяющихся внутренних гравитационных волн в сильно устойчивом пограничном слое, в частности. В настоящем исследовании показано, что улучшенная трехпараметрическая $E - \varepsilon - \langle \theta^2 \rangle$ RANS модель турбулентности [1-2], в которой временной масштаб турбулентного скалярного поля (температуры) зависит от частоты плавучести, описывает эффект внутренних волн в поддержании импульса течения в режиме сильной устойчивости течения. Результаты измерений в устойчиво стратифицированном атмосферном пограничном слое [3] и в лабораторном устойчиво стратифицированном свободном сдвиговом слое [4] показывают, что вихревой коэффициент диффузии импульса остается величиной постоянной или несущественно возрастающей, в то время как вихревой коэффициент диффузии тепла уменьшается с ростом градиентного числа Ричардсона $Ri_g = N^2 / S^2$ ($N = (\beta g (\partial \Theta / \partial z))^{1/2}$ – частота Брента-Вайсяля или частота плавучести; $S = ((\partial U / \partial z)^2 + (\partial V / \partial z)^2)^{1/2}$ – вертикальный сдвиг горизонтальной скорости течения). Как отмечено в [5], вертикальное перемешивание при $Ri_g < 1$ происходит вследствие неустойчивости Кельвина-Гельмгольца (К-Г). При $Ri_g \geq 1$, однако в переходном режиме от неустойчивости К-Г к волновой неустойчивости, превалирующим механизмом перемешивания является разрушение внутренних волн. Течения в окружающей среде могут быть довольно аккуратно описаны системой уравнений в приближении Буссинеска. В этом приближении уравнение баланса турбулентной кинетической энергии (ТКЕ) имеет вид [6]:

$$\frac{\partial E}{\partial t} + U_j \frac{\partial E}{\partial x_j} = \frac{\partial M_j}{\partial x_j} - \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} (1 - Ri_f) - \varepsilon, \quad (1)$$

где $E_k = \overline{u'_i u'_i} / 2$ – ТКЕ, ε – скорость ее диссипации, Ri_f – потоковое число Ричардсона:

$$Ri_f = \beta g \overline{\theta' w'} / \left(\overline{u'_i u'_j} (\partial U_i / \partial x_j) \right) = -G / P, \quad (2)$$

которое представляет отношение потока плавучести $G = \beta g \overline{\theta' w'}$ к порождению ТКЕ сдвигом скорости $P = -\overline{u'_i u'_j} (\partial U_i / \partial x_j)$, $\partial M_j / \partial x_j$ есть дивергенция потока энергии турбулентности. Потоковое число Ричардсона

(2) может быть выражено и через вихревые коэффициенты импульса K_m и тепла K_h ; поэтому этот параметр рассматривается как ключевой параметр при моделировании турбулентных геофизических течений. В трехпараметрической $E - \varepsilon - \theta'^2$ RANS-модели турбулентности [1-2] число Ri_f выражается через турбулентное число Прандтля Pr_T и градиентное турбулентное число Ri_g :

$$Ri_f = Pr_T^{-1} Ri_g - \frac{\beta g \gamma_c}{K_m S^2}, \quad (3)$$

где $Pr_T = K_m / K_h$ – турбулентное число Прандтля и γ_c – турбулентный «противоградиент», который учитывает вклад крупномасштабных вихрей в вертикальный перенос тепла в атмосфере, в частности [2].

Улучшенная RANS модель стратифицированной турбулентности

Определяющая система RANS-уравнений для стратифицированных течений в приближении Буссинеска, используемая в настоящем исследовании, та же самая, как и в [1-2], и потому здесь не повторяется. Если учесть зависимость временного масштаба турбулентного температурного поля от частоты Брента-Вяйсяля N , можно сформулировать анизотропные алгебраические параметризации для вихревых коэффициентов диффузии импульса (K_m) и тепла (K_h) для стратифицированных течений, которые корректно включают не только воздействие плавучести на турбулентный перенос, но и эффект внутренних гравитационных волн на перенос импульса и тепла [2]. Действительно, как показано в [7], турбулентный масштаб времени скалярного поля τ_{p0} должен включать эффект стратификации, или эффект воздействия внутренних гравитационных волн на перемешивание импульса, в следующей форме:

$$\tau_{p0} = \tau / (1 + a \cdot \tau^2 N^2), \quad (4)$$

где $a = 0.16$, если $N^2 > 0$ и $a = 0$, если $N^2 \leq 0$. Физические аргументы в пользу представления (4) состоят в том, что в устойчиво стратифицированных течениях вихри совершают работу против гравитации и теряют свою ТKE, которая переходит в потенциальную энергию расслоенной по плотности или температуре среды. Анизотропные алгебраические модели для турбулентных потоков импульса и тепла могут быть получены из замкнутых уравнений переноса для этих потоков при использовании приближения слабравновесной турбулентности [2].

Устойчивый пограничный слой. Численное моделирование

Трехпараметрическая модель турбулентности [1-2] физически корректно учитывает влияние плавучести на турбулентный перенос импульса и тепла, позволяя численно моделировать весь суточный цикл эволюции

планетарного пограничного слоя. В начальный момент времени задается однородный по всей высоте пограничного слоя профиль скорости ветра, равный геострофическому ветру ($U = U_g = 8 \text{ м/с}$; $V_g = 0$; геострофическая скорость ветра направлена по оси x). Отклонение потенциальной температуры от предписанного значения задается в виде аналитической зависимости, аппроксимирующей данные измерений: $\Theta_g(x, 0, t) = 6 \sin(\pi t / 43200) (t - \text{текущее время, в сек.})$. Это единственное нестационарное граничное условие задачи, которое позволяет моделировать 24-часовой цикл нагревания поверхности солнечной радиацией. Для получения сильно устойчивого пограничного слоя поверхность Земли в ранние вечерние часы, когда поток тепла становится отрицательным и стратификация становится устойчивой, начинает охлаждаться с постоянной скоростью, равной $0,25 \text{ К/час}$. Профиль потенциальной температуры однороден до высоты, равной 100 м , и затем возрастает с постоянной скоростью $0,01 \text{ К/м}$. Шероховатость поверхности z_0 равна $0,1 \text{ м}$. Влажность не рассматривается. Начальные поля турбулентных величин E, ε , and $\overline{\theta'^2}$ задаются в виде малых фоновых значений. На верхней границе пограничного слоя для всех искомым функций используются условия Неймана за исключением температуры, граничное значение которой находится из условия сохранения ее градиента вблизи границы. Вплоть до высоты 100 м от подстилающей поверхности вертикальное разрешение равно $6,25 \text{ м}$ с последующим растяжением вычислительной сетки вплоть до высоты 1000 м и постоянным шагом сетки до высоты 5000 м . Система уравнений пограничного слоя с применением полунявной конечно-разностной схемы на смещенной в вертикальном направлении разностной сетке.

Вихревые коэффициенты диффузии импульса (K_m) и тепла (K_h)

На рисунке 1 представлены вычисленные вихревые коэффициенты диффузии импульса K_m (сплошная линия 1) и тепла K_h (сплошная линия 2), нормализованные на величину $\overline{w'^2} / S$, вместе с данными измерений в устойчиво стратифицированном планетарном пограничном слое [3]. Такое поведение коэффициентов K_m и K_h с ростом устойчивости течения (увеличением градиентного числа Ричардсона) согласуется с убывающим трендом обратного турбулентного числа Прандтля [2]. Данные измерений [3] в устойчивом пограничном слое на рисунке 1 (открытые символы – K_m , открытые квадраты – K_h) показывают переход течения к устойчивому состоянию при значении числа $Ri_g \geq 0,2$. Из рисунка 1 следует, что при числе $Ri_g \geq 1,0$, коэффициент K_m остается, приближенно, постоянным с ростом числа Ri_g , или слегка возрастающим, в то время как коэффициент

K_h уменьшается с ростом устойчивости течения. Объяснение такого поведения вихревых коэффициентов диффузии импульса и тепла состоит в том, что турбулентность подавляется устойчивой стратификацией, и тем самым перенос импульса и тепла турбулентными вихрями существенно ослабляется. При сильной стратификации течение может поддерживаться распространяющимися внутренними гравитационными волнами, эффективно переносящими импульс, но не тепло. Включение в трехпараметрическую RANS-модель стратифицированной турбулентности [2] эффекта воздействия внутренних волн на перенос импульса и тепла и позволяет корректно воспроизвести поведение вихревых коэффициентов переноса, показанное на рисунке 1.

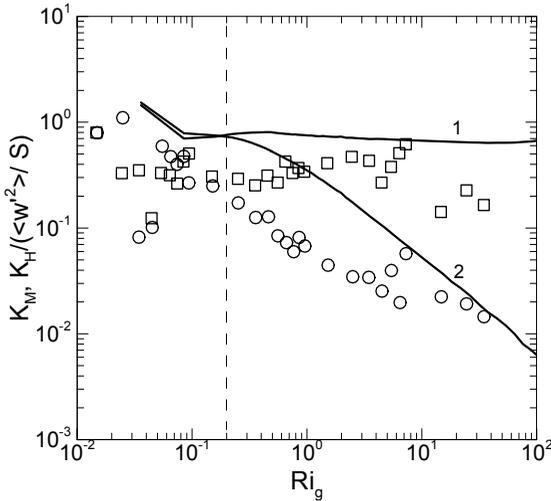


Рис. 1. Коэффициенты вихревой диффузии импульса K_m (линия 1)

и тепла K_h (линия 2), нормализованные на величину $\overline{w'^2} / S$, как функции числа Ричардсона в устойчиво стратифицированном планетарном пограничном слое. Данные измерений [3]: K_m – \square , K_h – \circ

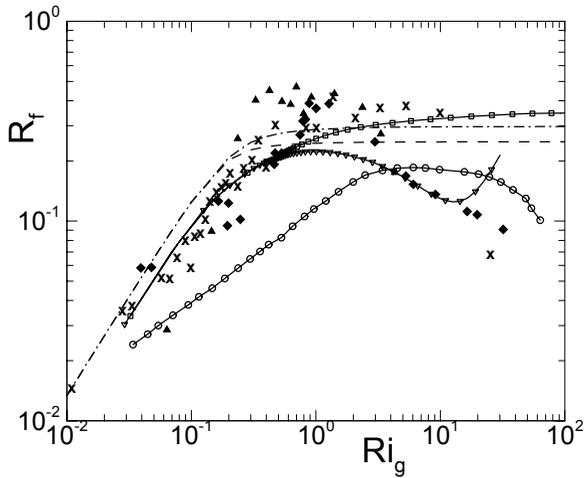


Рис. 2. Эффективность перемешивания Ri_f как функция градиентного числа Ричардсона. Данные измерений: $\blacktriangle, \times, \blacklozenge$ – [5]. Результаты численного моделирования: \square – переходный период, \square – сильно устойчивый режим; \circ – результат прямого численного моделирования струйного течения в тропопаузе [10], штриховая линия – аппроксимация [8]; штрихпунктирная линия – аппроксимация [9]

Потоковое число Ричардсона как эффективность вихревого перемешивания

Один из важных аспектов, который мы хотели бы отметить, это немонотонная зависимость Ri_f от Ri_g в переходный период течения к сильно устойчивому состоянию, когда поток тепла может быть убывающим при росте устойчивости течения. Рисунок 2 представляет сравнение зависимостей $Ri_f - Ri_g$, полученных при численном моделировании динамики устойчиво стратифицированного планетарного пограничного слоя с использованием трехпараметрической RANS-модели турбулентности, с данными измерений [5] и полуэмпирическими зависимостями [8-9]. Рисунок 2 показывает, что в переходный период от неустойчивого к сильно устойчивому состоянию течения (сплошная линия, маркированная символами, ∇), потоковое число Ричардсона обнаруживает немонотонное поведение. Немонотонное поведение потокового числа Ричардсона получено при прямом численном моделировании стратифицированного струйного течения в тропопаузе [10]. Показано на рисунке 2 сплошной линией, маркированной символами \circ . В очень устойчивом состоянии ночного пограничного слоя число Ri_f изменяется монотонно (сплошная линия 2, маркированная символами \square), как и параметризации [8-9, 11]; штриховая и штрихпунктирная линии, соответственно.

Турбулентная энергетика

Для устойчиво стратифицированной турбулентности с вертикальным сдвигом горизонтальной скорости S и частотой плавучести N , средняя турбулентная потенциальная энергия (ТПЕ) определяется в виде:

$$E_p = \frac{1}{2} \left(\frac{\beta g}{N} \right)^2 \overline{\theta'^2}.$$

Рисунок 3 показывает вычисленную фракцию ТПЕ, E_p / E ($E = E_p + E_k$ – полная энергия турбулентности) как функцию числа Ri_g вместе с недавними данными измерений в атмосфере [12], лаборатории [13] и LES данными [14]. Результаты численного моделирования по трехпараметрической RANS-модели (сплошная линия) и LES данные (штрихпунктирные линии) показывают монотонную зависимость: отношение E_p / E увеличивается с ростом числа Ri_g и стремится к конечному значению $E_p / E \approx 0,21$. Вычисленные отношения τ_F / E_k (рис. 4а) и $-F_z / (E_k E_0)^{1/2}$ (рис. 4б) показывают, что в условиях сильно устойчивой стратификации ($Ri_g > 1$), или в режиме «слабого перемешивания», импульс эффективно поддерживается: $\tau_F / E_k \rightarrow \text{const} \approx 0,3$ ($\tau_F = [(-\overline{u'w'})^2 + (-\overline{v'w'})^2]^{1/2}$ – полный поток горизонтального импульса, $F_z = \overline{w'\theta'}$ – вертикальный турбулентный поток тепла, $E_0 = (1/2)\overline{\theta'^2}$). В то же самое время, нормализованный поток тепла уменьшается до значения: $-F_z / (E_k E_0)^{1/2} \sim 0,05$ при значении $Ri_g = 50$. Этот результат, конечно, находится в согласии с вычисленными зависимостями для вихревых коэффициентов диффузии импульса (K_m) и тепла (K_h) как функциями числа Ri_g на рисунке 4, и спадающим трендом обратного значения турбулентного числа Прандтля [2]. Следует отметить, что очень большие числа Ri_g наблюдаются в области гетерогенной температурной инверсии, наверху пограничного слоя, куда существенные величины ТКЕ и ТПЕ транспортируются из внутренней области пограничного слоя. Так что энергетика турбулентности не полностью контролируется локальными факторами, и фракция турбулентной потенциальной энергии E_p / E зависит не только от значения числа Ri_g , но также в существенной степени от начальных и граничных условий [13].

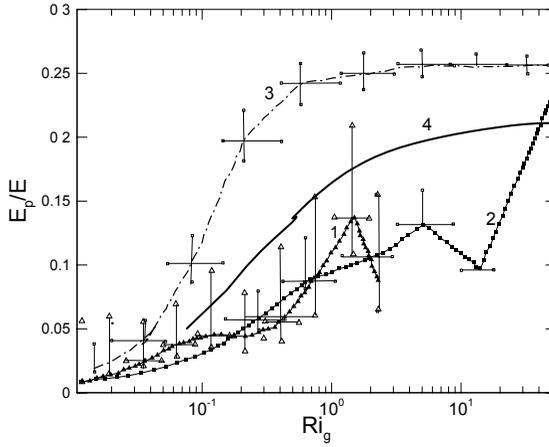


Рис. 3. Отношение турбулентной потенциальной энергии к полной турбулентной энергии, E_p / E , в зависимости от градиентного числа Ричардсона Ri_g :

линия 1 – данные полевых измерений SHEBA [12]; линия 2 – данные лабораторного эксперимента [13]; линия 3 показывает результаты метода LES из [14], а линия 4 – результаты трехпараметрической RANS-модели

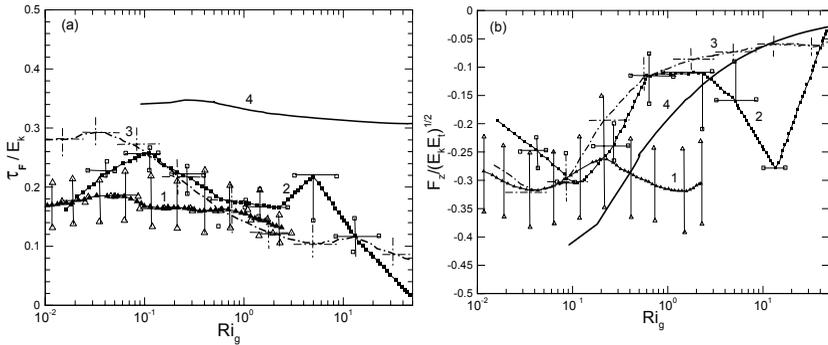


Рис. 4. Нормализованные турбулентные потоки: импульса (а) – τ_F / E_k , и тепла (б) – $F_z / (E_k E_\theta)^{1/2}$, в зависимости от числа Ri_g , вместе с данными как на рисунке 3

Переменяемость турбулентности в окрестности струи низкого уровня в сильно устойчивом пограничном слое

В ночное время при ясном небе и слабом ветре часто наблюдаемая турбулентность оказывается слабой и носит перемежающийся характер. Это короткие периоды турбулентного состояния среды, чередующиеся с относительно слабыми, трудноизмеримыми флуктуациями [15]. Переменяемость с не подавленными вихрями на всех масштабах в периоды

слабой турбулентности обычно трактуется как «глобальная» перемежаемость. Рисунок 5, взятый из [16], показывает такую глобальную перемежаемость, т.е. развитие турбулентного потока тепла вблизи поверхности в течение ясной ночи с относительно слабыми ветрами. Отчетливо прослеживается чередование интенсивных всплесков турбулентности, или «бёрстов» (bursts), с большими отрицательными величинами турбулентных потоков тепла и более спокойных периодов, с едва заметными потоками тепла. Перемежающаяся турбулентность вызывает изменения в эволюции средней температуры и скорости течения вблизи поверхности и потому играет важную роль в параметризации взаимодействия поверхности с ее окружением.

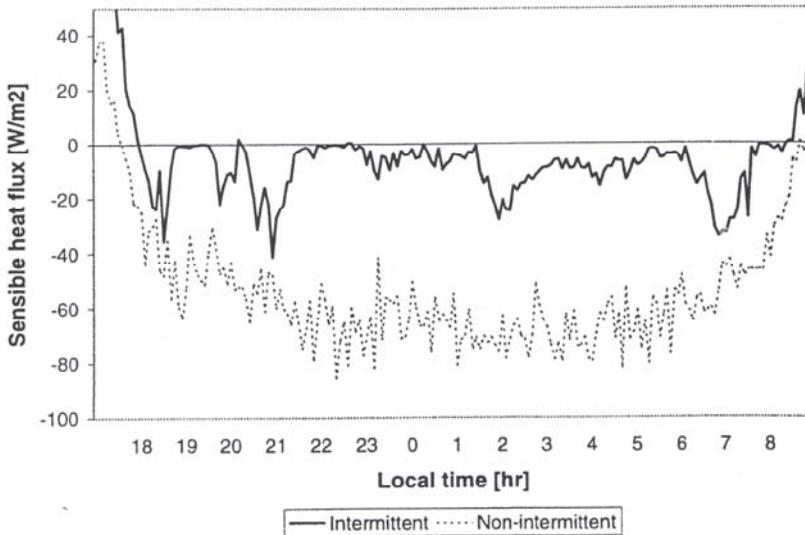


Рис. 5. Глобальная перемежаемость в устойчиво стратифицированном пограничном слое

Низкоуровневая струя и перемежаемость турбулентности

В классическом устойчивом пограничном слое турбулентность генерируется у поверхности и транспортируется вверх. В не классическом устойчивом пограничном слое турбулентность может также генерироваться наверху вследствие сильного сдвига выше и ниже носика струи (максимального значения скорости). На рисунке 6 показаны LES результаты [17] изменения во времени кинетической энергии турбулентности на различных высотах от поверхности. Носик струи (рис. 7) находится на высоте $z/h=1$ (h – высота пограничного слоя). Можно видеть протяженные периоды, где энергия E_k оказывается подавленной в условиях сильной

устойчивости. Явно выраженная перемежаемость наблюдается под нижней ветвью струи (на уровне $z/h = 0,8$) и едва заметная над верхней ветвью струи.

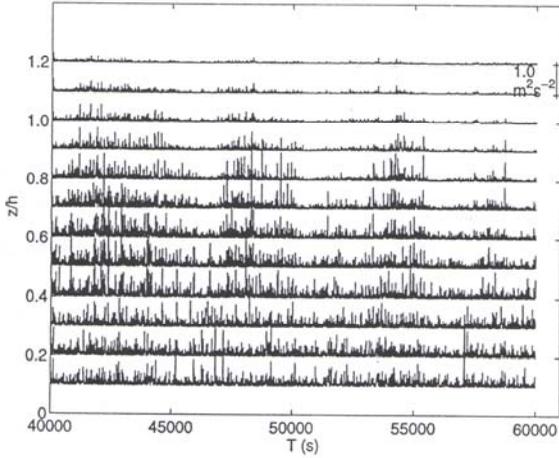


Рис. 6. Временные ряды E_k на различных высотах для случая сильной устойчивости (по горизонтали – текущее время в секундах)

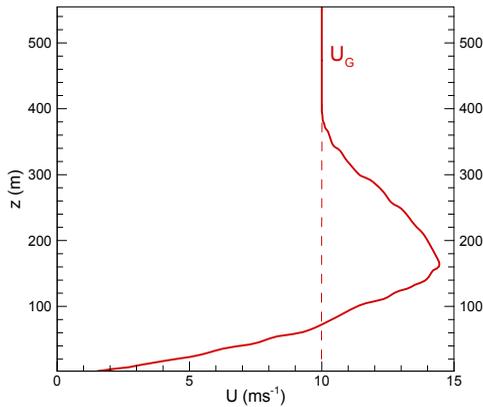


Рис. 7. Вертикальный профиль скорости течения, вычисленный с RANS-моделью турбулентности (U_G – скорость геострофического ветра)

На рисунке 8 показан аналог рисунка 6, полученный для квазиустановившегося состояния пограничного слоя как результат численного моделирования с RANS-моделью турбулентности.

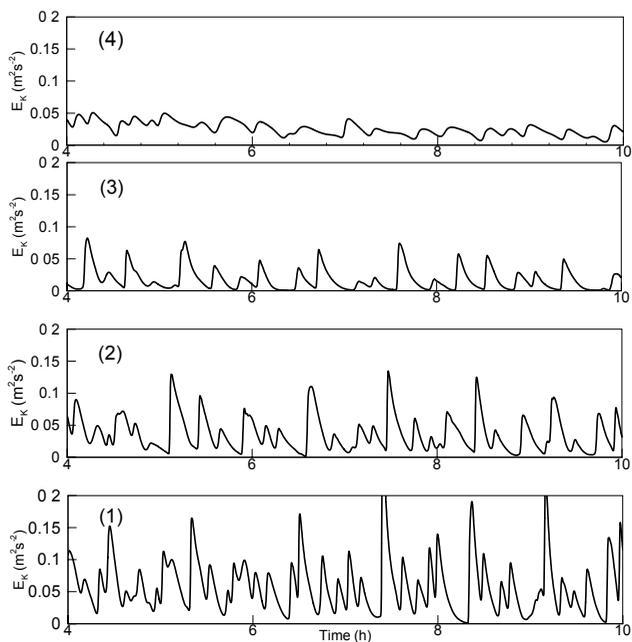


Рис. 8. Перемежающаяся турбулентность на нижней и верхней ветви струйного профиля скорости (рис. 7): 1 – $z=100$ м, 2 – $z=125$ м, 3 – $z=150$ м, 4 – $z=220$ м

Перемежающаяся турбулентность более интенсивна в подструйной области (диаграммы 1-2), чем в области над струей (диаграммы 3-4).

Чувствительность трехпараметрической RANS-модели к явлению перемежаемость турбулентности

На рисунке 8 представлен результат моделирования с RANS-моделью турбулентности, представляющий исследование реакции модели на динамику турбулентности в окрестности струи к заданному форсингу поверхности (моделирование выполнено, как и в [17], с постоянным на поверхности потоком тепла: $\overline{w'\theta'} = -0,05$ Км с-1).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №09-05-0004а), Интеграционного проекта СО РАН по фундаментальным исследованиям №132, а также программы №4 Президиума РАН и программы №3 Отделения математических наук РАН.

Литература

1. Kurbatskiy A.F., Kurbatskaya L.I. $E-\varepsilon-\langle\theta^2\rangle$ turbulence closure model for an atmospheric boundary layer including the urban canopy // *Meteorology and Atmospheric Physics.* – 2009. – V. 104. – P. 63-81.

2. Kurbatskiy A.F., Kurbatskaya L.I. On the turbulent Prandtl number in a stably stratified atmospheric boundary layer // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. – 2010. – V. 46. – P. 169-177.
3. Monti P., Fernando H.J.S., Princevac M., Chan M., Kowalewski T.A., Pardyjak E.R. Observations of flow and turbulence in the nocturnal boundary layer over a slope // *Journal of Atmospheric Sciences*. – 2002. – V. 59. – P. 2513-2534.
4. Strang E.J., Fernando H.J.S. Vertical mixing and transport through a stratified shear layer // *J. Phys. Oceanography*. – 2001. – V. 31. – P. 2006-2048.
5. Pardyjak E.R., Monti P., Fernando H.J.S. Flux Richardson number measurements in stable atmospheric shear flows // *J. Fluid Mech.* – 2002. – V. 459. – P. 307-316.
6. Kurbatskiy A.F. *Lectures on Turbulence*. – Novosibirsk, 2000.
7. Weinstock J. A theory turbulence transport // *J. Fluid. Mech.* – 1989. – V. 202. – P. 319-338.
8. Mellor G.L., Yamada, T. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems // *Reviews of Geophysical and Space Physics*. – 1982. – V. 20. – P. 851-875.
9. Nakanishi M. Improvement of the Mellor-Yamada turbulence closure model based on large-eddy simulation data // *Boundary-Layer Meteorology*. – 2001. – V. 99. – P. 349-378.
10. Mahalov A., Nicolaenko, B., Tse K.L. and Joseph B. Eddy mixing in jet-stream turbulence under stronger stratification // *Geophysical Research Letters*. – 2004. – V. 31. – L 23111.
11. Yamada T. The critical Richardson number and the ratio of the eddy transport coefficients obtained from a turbulence closure model // *J. Atmos. Sci.* – 1975. – V. 32. – P. 926-933.
12. Uttal T., Curry J.A., McPhee et al. Surface heat budget of the Arctic Ocean // *Bull. Am. Meteorol. Soc.* – 2002. – V. 83. – P. 255-276.
13. Ohya Y. Wind-tunnel study of atmospheric stable boundary layers over a rough surface // *Boundary-Layer Meteorology*. – 2001. – V. 98. – P. 57-82.
14. Zilitinkevich S.S., Elperin T., Kleerorin N., Rogachevskii I., Esau I., Mauritsen T. Turbulence energetic in stably stratified geophysical flows: Strong and weak mixing regimes // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. – 2008. – V. 134. – P. 793-799.
15. Mahrt L. Stratified atmospheric boundary layers. *Boundary-Layer // Meteorology*. – 1999. – V. 90. – P. 375-396.
16. Poulos G.S., Fritts D.C., Blumen W., Bach W.D. CASES99 field experiment: An Overview // *Preprints 14 th Symp. On Boundary Layer and Turbulence*, Aspen, CO, Amer Meteor. Soc. – 2000. – P. 618-621.
17. Zhou B., Chow F.K. Large-Eddy Simulation of the Stable Boundary Layer with Explicit Filtering and Reconstruction Turbulence Modelling // *Journal Atmospheric Sciences*. – V. 68. – P. 2142-2155.

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА АККЛИМАТИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ

Л.А. Кустарева

Биолого-почвенный институт Национальной академии наук Кыргызской республики, лаборатория ихтиологии и гидробиологии, e-mail: kustik2003@yandex.ru

THEORY AND PRACTICE OF ACCIMATIZATION THROUGH THE EXAMPLE OF LAKE OF ISSYK-KUL

L.A. Kustareva

Biology and Soil Institute, National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic

Предлагается анализ предпосылок для проведения акклиматизационных работ на горном бессточном озере Иссык-Куль и результаты интродукции чужеродных видов в исторически сложившийся мирный комплекс рыб.

Analysis of prerequisites for conducting acclimatization works on the mountain enclosed Lake Issyk-Kul and unexpected results of introduction of alien species to historically formed non-predatory complex of fish are presented.

Биологические словари [1] толкуют слово «акклиматизация» как интродукция, т.е. комплекс мероприятий по вселению какого-либо вида в новые места обитания, проводимый в целях обогащения естественных или искусственных сообществ *полезными для человека организмами*. В практике переселения водных организмов *интродукцией* называют перенос организмов в новые условия (водоем, биотоп, культуру) с целью их акклиматизации и заполнения свободных экологических ниш. Намеренное и случайное переселение организмов практиковалось человеком с давних времен [2]. Теоретические предпосылки для обоснования вселения наземных растений и животных появились в первой половине XX столетия. В России в этот период был обобщен опыт акклиматизации только наземных растений и животных и разработаны теоретические основы этого процесса [3].

В области акклиматизации водных организмов после долгого времени отсутствия теоретических принципов в этой области появилась работа А.Ф. Карпевич [4], в которой были обобщены не столько ошибки, сколько достижения акклиматизационных работ на водоемах СССР. Наиболее утверждающим принципом мероприятий по интродукции и акклиматизации водных организмов признавалось улучшение их видового состава в водоемах и увеличение биомассы

Материалом для написания статьи послужили по акклиматизации чужеродных видов, исследованиями результатов акклиматизации, а также

исследования последствий интродукционных мероприятий, осуществлявшихся в Иссык-кульской котловине.

Озеро Иссык-Куль, расположенное в аридной зоне на высоте 1606 м над уровнем моря, является «географическим парадоксом». Климат в Иссык-кульской котловине подобен морскому, характеризуется мягкой зимой и прохладным летом. Значительная часть акватории озера находится над большими глубинами (средняя глубина-280 м). Лишь 25 % площади (до глубины 40 м) являются продуктивной зоной. Малая площадь продуктивной акватории Иссык-Куля, незначительная изрезанность береговой линии, низкий температурный режим (с глубины 75 м и до дна – 4°C во все сезоны года), малое содержание в воде притоков органики и микроэлементов и ионный состав воды не способствуют развитию в нем органической жизни. Ее бедность демонстрирует и высокая прозрачность воды озера – от 11 до 27м [5]. Этим объясняется цвет воды в озере по шкале Фореля-Уле – I, описываемый как «исключительно глубокий синий» [6].

До того, как были начаты постоянные гидробиологические исследования гидробиологии озера Иссык-Куль, Л.С.Берг рекомендовал, исходя из сходства его расположения и гидрологических условий с озером Севан, вселить в него севанскую форель, что и было осуществлено в 1930-1936 гг.

В первой половине XX века существование теории «свободных экологических мест», т.е. ненасыщенности фауны многих районов, спровоцировало бум акклиматизационных работ на пространстве бывшего Советского Союза. Поэтому теоретические предпосылки к акклиматизационным мероприятиям в бассейне озера Иссык-Куль сводились к следующему [7]: доминирующих в озере малоценных видов рыб необходимо заменить более ценным ихтиокомплексом, который освоит свободные пищевые ниши (малоценные виды рыб, детрит, фитопланктон, высшая водная растительность).

Мнение об отсутствии в Иссык-Куле типичных хищников, фитофагов, планктоноядных и глубоководных рыб [8] и количественном преобладании малоценных видов (в частности чебачка) способствовало возникновению идеи о превращении озера в форелево-сиговый водоем и реального увеличения рыбного промысла [9-10]. Одновременно предполагалось поддерживать промысловую численность ценных аборигенных видов рыб - иссыккульских маринки и голого османа. К этому времени в Иссык-Куль уже были интродуцированы карп, севанская и радужная форели, уральский судак, сиг-лудога из Севана, пелядь, байкальский омуль, лещ, жерех, самаркандская храмуля и ряд случайных видов – линь, киргизский елец, амурский чебачок, элеотрис, абботина, серый голец и пятнистый губач.

Успешно акклиматизировались карп, севанская и радужная форели, уральский судак, сиг-лудога, лещ, линь. Из других интродуцентов не прижились киргизский елец, байкальский омуль, пелядь и самаркандская храмуля. К собственным факультативным ихтиофагам (иссыккульским

маринке и голому осману) были добавлены хищные виды (севанская и радужная форели, судак) и икроеды (амурский чебачек, элеотрис и др.). При этом, из-за отсутствия на тот период данных по питанию большинства исыккульских видов рыб, не было известно, что рыбы аборигены, в том числе эндемики, используют в пищу все компоненты кормовой базы озера [11-12], что свидетельствует об отсутствии свободных пищевых ниш.

И лишь масштабные гидробиологические исследования олиготрофного оз. Исык-Куль выявили, что в пище аборигенных исыккульских рыб на всех стадиях их развития присутствуют все компоненты кормовой базы – от детрита до рыб [13]. Кроме ценных видов рыб в озеро для повышения его кормовой базы вселялись на протяжении четырех лет (1965-1968) из озера Балхаш три вида понто-каспийских мизид [14], из которых успешно акклиматизировались два – *Paramysis kowalewskyi* и *P. intermedia*. Эту часть акклиматизационных работ можно считать успешной, так как мизиды стали встречаться в рационе чебака, чебачка, форелей и судака.

По прошествии некоторого времени стало ясно, что сформировать промысловое стадо форели естественным путем не предвидится по причине неблагоприятных условий для размножения. Усилия специалистов были направлены на исследование возможностей для искусственного размножения не только форели, но и промыслового эндемика озера – голого османа. Для этих целей были созданы два рыборазводных завода на притоках озера (реки Каракол и Тон) и разработаны рекомендации по искусственному воспроизводству форели, османа и видов рода *Coregonus* [15-17], в результате этого удалось поднять лишь численность форели и начать ее промысел

Количественные показатели вылова рыбы (общий улов) из озера Исык-Куль, уже начиная с 1965 г., стремительно снижались несмотря на некоторое увеличение численности вселенцев. Особенно пострадал «бренд» Исык-Куля и его эндемик – исыккульский чебачок, составлявший 90 % в общих уловах. Такой непредвиденный результат имел три основные причины: лов чебачка в период нереста, наличие трех хищников и браконьерство местных жителей. С приобретением Киргизией суверенитета и образованием нового государства – Кыргызской Республики – произошло разгосударствление рыбохозяйственных объектов, стремительно выросло браконьерство, перестали функционировать рыборазводные предприятия.

Не исправили положение дел организация в границах Исыккульской области биосферной территории, законами которой запрещается внедрение в водоемы этой территории чужеродных видов, и введение моратория на запрет вылова всех видов рыб. На фоне катастрофического спада численности как аборигенных, так и акклиматизированных промысловых видов рыб в озере в настоящее время функционируют садковые хозяйства, выращивающие радужную форель (в том числе генномодифицированную) и норвежскую семгу с применением искусственных кормов. Вылов рыбы из озер Исык-Куль и Сон-Куль в 2010 г. составил чуть более 3 т, тогда как в

середине 60-х годов только в Иссык-Куле вылавливали 12-14 тыс. ц. В то же время из садков получено 150 т радужной форели. Не приходится сомневаться в том, что из садков происходит утечка посадочного материала, и радужная форель пополняет свою численность в озере. Имеются неопубликованные сведения о том, что уже встречаются помеси двух видов форели. Преобладание форелей и судака в малокормном Иссык-Куле создало угрозу исчезновения аборигенных видов рыб, в том числе восьми эндемиков. Два промысловых эндемика (иссыккульские маринка и голый осман) по результатам научных исследований уже занесены в список исчезающих видов [18], которые невозможно реакклиматизировать. В последние годы уже не удастся отловить половозрелых производителей этих видов для искусственного воспроизводства.

Еще одной проблемой экосистемы озера является загрязнение этого уникального творения природы из-за возросших масштабов жилищного и рекреационного строительства, следствием чего является увеличение численности населения, туристов и отдыхающих в санаториях, пансионатах и снимающих жилье в летнее время у жителей населенных пунктов в Прииссыккулье. Отсутствие эффективных мер по утилизации твердых и жидких коммунальных, промышленных и сельскохозяйственных отходов создает угрозу формирования в озере сероводородной зоны, что, несомненно, приведет к трансформации его экосистемы из олиготрофной в эвтрофную.

Выводы. Если не прекратить эскалацию радужной форели из садков и не принимать меры по искусственному сокращению численности еще одного хищника – судака, то и другие эндемики, особенно промысловые, станут исчезающими видами. Основной задачей на сегодняшний день является прекращение товарного производства рыбы в садковых хозяйствах, выведение озера Иссык-Куль из статуса рыбохозяйственного водоема и придание ему статуса спортивно-любительского, что в свое время рекомендовал известный знаток Иссык-Куля А.В.Шнитников [19]. В следующую очередь необходимо решить вопрос о снижении до минимальных показателей загрязнения атмосферы, водных источников и почв отходами антропогенного характера.

Литература

1. Реймерс Н.Ф. Популярный биологический словарь.– М.: Наука, 1991. – С. 22.
2. Дарвин Ч. Происхождение видов путем естественного отбора. Т. 3. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1939. – 121 с.
3. Малеев В.П. Теоретические основы акклиматизации. – Л.: Сельхозгиз, 1933. – 160 с.
4. Карпевич А.Ф. Теория и практика акклиматизации водных организмов. – М.: Изд-во «Пищевая промышленность», 1975. – 430 с.
5. Кулумбаева А.А. Фитопланктон озера Иссык-Куль. – Фрунзе, 1982. – 106 с.
6. Жадин В.И., Герд С.В.. Реки, озера и водохранилища СССР, их фауна и флора. – М., 1961. – С. 421-427.

7. Турдаков Ф.А. Рыбы Киргизии. – Фрунзе: Изд-во КирФАН СССР, 1952. – С. 149-150.
8. Турдаков Ф.А. Перестройка рыбного промысла на Иссык-Куле // Вестник АН СССР. – 1961. – № 2. – С. 55.
9. Турдаков Ф.А. Рыбы Киргизии (второе издание). – Фрунзе, 1963. – С. 150-157.
10. Конурбаев А.О., Турдаков А.Ф., Фолиян Л.А, Павлова М.В. Акклиматизация рыб и беспозвоночных в водоемах Киргизии // Акклиматизация рыб и беспозвоночных в водоемах СССР. – Фрунзе, 1972. – С. 43-45.
11. Таиров Ю.М., Белозуб Л.Г. Материалы по питанию и росту молоди судака в озере Иссык-куль // Ихтиологические и гидробиологические исследования в Киргизии. – Фрунзе: Изд-во Илим, 1969. – С. 28-42.
12. Боярских Н.А. Питание и темпы роста иссыккульского чебачка //Ихтиологические и гидробиологические исследования в Киргизии. – Фрунзе: Изд-во Илим, 1977. – С. 61-66.
13. Павлова М.В. Зообентос заливов озера Иссык-Куль и его использование рыбами. – Фрунзе: Изд-во Илим, 1964. – 85 с.
14. Фолиян Л.А., Павлова М.В., Боярских Н.А. Первые результаты акклиматизации мизид в озере Иссык-куль // Акклиматизация рыб и беспозвоночных в водоемах СССР. – Фрунзе: Изд-во Илим, 1972. – С. 248-250.
15. Конурбаев А.О, Турдаков А.Ф. Биотехника разведения иссыккульской форели гегаркуни. – Фрунзе: Изд-во Илим, 1979. – 72 с.
16. Конурбаев А.О. Биология размножения, развития и искусственного разведения иссыккульского голого османа. – Фрунзе: Изд-во Илим, 1966. – 115 с.
17. Никитин А.А. Акклиматизация и искусственное воспроизводство сиговых рыб в Киргизии. – Фрунзе: Изд-во Илим, 1976. – 110 с.
18. Альпиев М.Н, Кустарева Л.А. Рыбы // Красная книга Кыргызской Республики. – Бишкек: Изд-во Кыргызполиграфкомбинат, 2007. – С. 294-313.
19. Шнитников Ф.В. Иссык-Куль: природа, охрана и перспективы использования озера. – Фрунзе: Изд-во Илим, 1979. – 84 с.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ ВОДНОГО ФАКТОРА В ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ КОМПЛЕКСАХ (НА ПРИМЕРЕ УСТЬ-КАЧКИНСКОЙ РЕКРЕАЦИОННОЙ ЗОНЫ)

О.В. Ларченко, С.А. Двинских

Пермский государственный национальный исследовательский университет

FUNCTIONAL ROLE OF A WATER FACTOR IN NATURAL AND ANTHROPOGENOUS COMPLEXES (ON AN EXAMPLE OF THE UST-KACHKA RECREATIONAL ZONE)

O.V. Larhcenko, S.A. Dvinskih

Perm State University, larhcenko@yandex.ru

Составлена структурно-функциональная схема, показывающая роль водного фактора в развитии и функционировании природно-антропогенных комплексов (на примере рекреационной зоны Усть-Качки). Выделены районы природно-антропогенного комплекса, которые отличаются отношением к водным объектам, характером биогеоценозов и степенью рекреационных нагрузок.

It is made structurally – a function chart of a role of the water factor in development and functioning of nature-anthropogenous complexes (on example of the Ust-Kachka recreational zone). Areas of a nature-anthropogenous complex which differ the attitude to water object, by character biogeocoenosis and a degree of recreational loadings are allocated.

В период интенсивного создания крупных водохранилищ на реках в первую очередь необходимо было решить общие проблемы, связанные с изменением естественного режима рек и воздействием новых водоемов на природу и хозяйство прилегающих территорий. В настоящее время на первый план выходят проблемы использования уже имеющихся водохранилищ для новых целей: строительство мостов и водозаборов, добыча песчано-гравийной смеси, рекреационное обустройства участков побережий, отдельных заливов и т.п.

Особый интерес представляет решение этих задач для тех водохранилищ, где сильно изрезанна береговая линия, имеются многочисленные заливы в устьях притоков. Даже сравнительно простое по конфигурации Воткинское водохранилище имеет их достаточно много. На левом его берегу, в 70 км ниже г. Перми, расположено с. Усть-Качка, где разместился курорт федерального значения ОАО «Курорт Усть-Качка», который известен своими целебными свойствами вод минеральных источников. В силу сложившихся социально-экономических условий эта здравница играет все возрастающую роль для лечения и отдыха населения.

Рекреационное значение курорта выходит за пределы собственно курортной территории. Своеобразие же ее определяется наличием курорта, курортной зоны и остальной части, имеющей сельскохозяйственную специфику экономических, трудовых, экологических, социально-культурных и управленческих связей.

В настоящее время этот природно-территориальный комплекс, обладающий не только лечебно-оздоровительной ценностью, но и эстетической привлекательностью, подвергается интенсивному антропогенному воздействию. Освоение земель вблизи п. Усть-Качка, увеличивающееся водопотребление, вырубка лесов и т.д. привели к техногенным нарушениям природного комплекса. В целом антропогенная нагрузка пока не вызвала необратимых последствий, однако ее интенсификация может привести к превышению допустимых нагрузок на природную среду и как следствие ее деградации.

В целях решения проблем рационального использования и охраны водных и других ресурсов объекта изучения применены принципы и механизмы системной методологии (СМ). На основе принятого в СМ языка исходных понятий полная информация о системе как определенной части более общей целостности должна представлять совокупность представлений о ее структуре, функционировании и развитии [1].

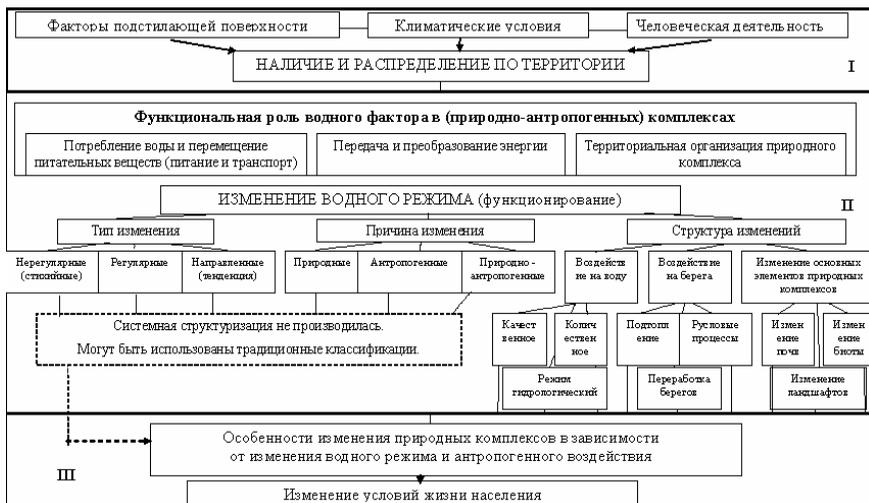


Рис. Структурно-функциональная схема роли водного фактора в развитии и функционировании природно-антропогенных комплексов

Согласно СМ составлена структурно-функциональная схема, представленная тремя блоками – подсистемами (рис.). Взаимодействие этих частей системы характеризует процесс функционирования.

Подсистема I содержит факторы, определяющие внешние воздействия. Среди них климатические условия – основной фактор. Факторы подстилающей поверхности – рельеф, водопроницаемость горных пород, растительность и др. – обеспечивающий. Деятельность человека – вспомогательный, который может стать основным в условиях возрастания антропогенных воздействий.

Подсистема II отражает системообразующий элемент – водный фактор, имеющий организационно-территориальную роль. Он определяет потребление пищевых, энергетических ресурсов. В процессе круговорота вещества и энергии водный режим является транспортным звеном и интегрирующим фактором процессов, которые происходят в природном комплексе. Любое изменение в водном режиме приводит либо к восстановлению, либо к образованию качественно новой системы. Изменение водного режима существенно сказывается и на других гидрологических характеристиках водотоков, таких как течения, ледовый режим и др. Изменение водного режима происходит под действием ряда факторов. По периодичности действия выделяют [2] факторы, действующие строго периодически, или регулярные (смена времени суток, сезонов года, приливно-отливные явления и т.п.); действующие без строгой определенности, или нерегулярные, т.н. стихийные, но повторяющиеся время от времени (погодные явления, наводнения, ураганы, землетрясения и пр.); факторы направленного действия или тенденция, которые обычно изменяются в одном направлении – потепление или похолодание климата, зарастание водоемов, заболачивание территории. При этом причинами любого из вышеперечисленных типов изменения водного режима могут быть как природные (естественные), так и антропогенные, или природно-антропогенные воздействия.

Подсистема III представляет собой результат взаимодействия внешних и водного факторов – структуру изменений в природно-антропогенном комплексе. Независимо от типа изменения водного режима и причин, его вызвавших, могут проявиться последствия и в воде, и на берегах и на других элементах природного комплекса. Воздействие на воду предполагает, в первую очередь, изменение гидрологического режима водных объектов. С ним связано изменение термического и ледового режимов, заиление, значительные колебания уровней. Кроме того, изменяется качество и количество воды в водоеме. Воздействие на берега проявляется в возникновении процесса подтопления, изменении характера русловых процессов на водотоках и переработке берегов на водоемах.

Изменение основных элементов природного комплекса заключается в том, что меняется почвообразовательный процесс и свойства самих почв, трансформируется видовой состав растительности и формируются новые фитоценозы, видоизменяются водные и наземные природные комплексы.

Таким образом, водный режим определяет изменения в системе, а почвы и растительность реагируют с некоторой инерцией на эти перемены и отражают их результат. Изменение водного режима ведет к трансформации уже сложившихся природных комплексов. В конечном счете это приводит к изменению условий жизни человека: ухудшается качество земель, лесов, появляются заболоченные пространства и как следствие возникает необходимость затрат на технические мероприятия. На примере территории рекреационной зоны Усть-Качки согласно схеме (рис.1) рассмотрены основные результаты изменения ее водного режима.

Главной и наиболее распространенной причиной различных нарушений в природных системах любого уровня является человеческая деятельность. Под влиянием антропогенных факторов природные системы изменяются, разрушаются и перестают частично или полностью выполнять важные для человека функции. Исследуемый комплекс Усть-Качки в той или иной степени испытывает вмешательство человека, приведшее к изменению водного режима территории. Это сказалось на функционировании системы, включающей водные объекты, прилегающую к территории, почвенный и растительный покровы.

Основными факторами, определяющими современное состояние водных объектов, является создание Воткинского водохранилища на р. Каме, приведшее к изменению водного режима впадающих в него рек. Это выразилось в распространении подпора вверх по течению (р. Качка, заливы) и, как следствие, увеличении объемов водной массы на участках, которые находятся в подпоре (устье р.р.Качки, Черемшанки). Уменьшился водообмен, в результате чего обширные площади в устье р. Качки за исключением центральной части зарастают и заболачиваются. На заливах создание водохранилища привело к формированию особого водного режима, напрямую зависящего от режима попусков Камской ГЭС.

Во-вторых, началось интенсивное строительство в бассейнах таких рек, как Качка, Черемшанка, Осиновка. Сооруженные в непосредственной близости от рек дачные постройки перегрузили береговую полосу и сделали ее еще более уязвимой для размыва. Антропогенный фактор ускорил процесс свободного меандрирования во времени и увеличил его масштабы. Пытаясь защитить свои участки, дачники практически уничтожили реки Черемшанку (в нижнем течении) и Осиновку (на всем ее протяжении). Интенсивная застройка прибрежной зоны идет на низком пойменном берегу р. Камы, поэтому во время весеннего половодья в многоводные годы есть реальная опасность не только подтопления, но и затопления значительной части территории.

Действие вышеперечисленных факторов привело не только к изменению водного режима водных объектов (количества воды), но и к изменению их качества. Вода практически всех водных объектов территории является непригодной для использования в питьевых целях, но может использоваться без предварительной подготовки для орошения и целей

рекреации. С образованием водохранилища проявляется и много геологических экзогенных процессов, ранее нехарактерных для описываемого района. Сюда относятся подтопление, заболачивание, подъем уровня грунтовых вод, подмыв береговых склонов и пр.

Территория Усть-Качки находится, с одной стороны, под влиянием попусков Камской ГЭС, а с другой – переменным подпором от Воткинской. При постоянных колебаниях уровня, профиль равновесия не может установиться. Как следствие происходит переработка берегов, которая будет продолжаться до тех пор, пока существует водохранилище. Берега интенсивно размываются и обрушиваются за счет сезонного, недельного и суточного колебаний уровней, которые связаны с работой Камской ГЭС. При этом прямолинейные участки достаточно стабильны, а ответвления и небольшие изгибы подвергаются интенсивным деформациям.

Влияние водохранилища способствует также усилению русловых процессов на реке Качке, которые происходят по типу свободного меандрирования с интенсивным размывом в вершинах излучин по всей длине реки в период весеннего половодья. Ежегодное отступление внешних берегов излучин изменяется в пределах от 0,5 до 2-2,5 м. Процесс меандрирования еще более усложняется тем, что нижнее течение реки находится в зоне влияния суточных колебаний уровней Воткинского водохранилища, достигающих 30 см. Постоянные колебания уровней увеличивают скорость размывания и разрушения берегов.

В результате проведенных исследований установлено, что участок побережья Воткинского водохранилища вблизи с. Усть-Качка – это природно-антропогенный комплекс, отдельные районы которого отличаются отношением к водным объектам, характером биогеоценозов и степенью рекреационных нагрузок:

I район – слабо нарушенные земли. Это территория заливных лугов и усиливающегося рекреационного воздействия. *II район – земли со значительной и умеренной нагрузкой,* территориально совпадающие с рекреационной территорией курорта «Усть-Качка». Для него характерно интенсивное разрушение береговых склоны под влиянием сезонных и суточных колебаний уровня воды. *III район – земли со значительной нагрузкой и наиболее преобразованные.* Он не связана с режимом водохранилища, испытывает последствия жесткого характера природопользования и сам оказывает влияние на других два района.

Степень и вид антропогенной нагрузки различны для выделенных районов. Поэтому в целях охраны и рационального использования компонентов природно-антропогенной системы, необходимы мероприятия, индивидуальные для каждого района. Наибольших усилий требует III район, в котором требуется перестройка дренажной системы. В первом районе необходимо ввести ограничение доступа для любых видов транспорта.

Литература

1. Ряшко Б.В. О разработке системно-диалектической методологии // «ERGO...», проблемы методологии междисциплинарных исследований и комплексного обеспечения научно-исследовательской деятельности». – Екатеринбург: УИФ Наука, 1995. Вып.2. –С.130-145.
2. Воронов Н.А. Основы общей экологии. Учеб.для студ. высш. учеб. завед. – М.: Агар, 1999. – С. 19-21.

ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕ В ТЕЛЕЦКОМ ОЗЕРЕ

В.Г. Лужецкий

*Институт вычислительной математики и математической геофизики
СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 6, Новосибирск, 630090,
Россия, lug@omzg.ssc.ru*

GASSING IN LAKE TELETSKOYE

V.G. Luzhetsky

*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of the
SB RAS, prospect Akademika Lavrentjeva, 6, Novosibirsk, 630090, Russia,
lug@omzg.ssc.ru*

Работы по сейсмоакустическому профилированию на древнем пресном Телецком озере показали, что в районе мыса Ежон (в средней части озера) присутствуют газогидраты бионического происхождения в осадках на глубинах 12-15 м. Газогидраты находятся в межледниковых слоях, сформированными около 230 тыс. лет назад. Есть вероятность, что из-за потепления климата Земли сейчас происходит интенсивное газовыделение. На хребте С. Лепневой и возвышенности вблизи устья реки Дербогач наблюдаются значительные выходы газа (вероятно, метана) и это хорошо видно на многих снимках экрана эхолота. Для окончательного доказательства необходимо на озере провести работы по газовому анализу проб воды.

Our own work on seismic profiling on an ancient freshwater lake Teletskoye showed that in the vicinity of Cape Ezhon in the middle of the lake there are gas hydrates in sediments bionic origin at depths of 12-15 m. Gas hydrates are in interglacial stages formed about 230 thousand years ago. There is a possibility that the intense gas release due to the come warm climate on Earth. At the ridge S. Lepneva and Hills near the mouth of the river Derbogach observed significant yields of gas (probably methane) and it is clearly seen in many sonar screenshots. For the final proof of gassing is necessary to carry out work on gas analysis of water samples.

Присутствие газов в глубоководных озерах можно объяснить тем, что в них в периоды межледниковых стадий происходило резкое накопление осадков и последующая переработка биологических продуктов с образованием газовых скоплений. Газовыделение в акваториях в большинстве случаев объясняют наличием в них газогидратов, так например, сегодня считается, что пресное озеро Байкал является единственным на Земле, где присутствуют газогидраты. Но по нашему мнению это не так, т.к. многие озера еще до конца не исследованы. И свидетельством этому является то, что еще в 2008 году при работах по высокоразрешающему сейсмоакустическому профилированию на Телецком озере обнаружены в районе мыса Ежон в средней части озера газогидраты биотического происхождения в осадках на глубинах 12-15 м [1-2]. Формирование этих газогидратов происходило около 230 тыс. лет назад.

В морях и океанах газогидраты находят там, где на сейсмограммах выделяются границы BSR (Bottom-Semulating Reflector – кажущееся отражение поверхности дна). Появление этих границ на временных разрезах обусловлено следующими обстоятельствами. Газ (метан) просачивается из недр Земли к поверхности дна и скапливается под плотными слоями осадков. Затем в присутствии воды под влиянием определенных термобарических условий наступает кристаллизация газа, и в осадках появляется слой газогидратов термогенного происхождения.

На сейсмограммах основной признак присутствия газогидратов проявляется в существенном возрастании амплитуд отраженных сигналов за счет того, что упругие волны от источника возбуждения вначале достигают границ газогидратов, в которых скорости волн существенно возрастают (до 3000 м/с и более). Затем волны входят в зоны скопления газов, где скорости резко падают, и на сейсмограммах видны повышения амплитуд отражающих сигналов и появления импульсов с инверсными фазами по сравнению с фазами падающих волн. На Байкале и Телецком озере наблюдается совершенно иная картина, т.к. в осадках формируются газогидраты биогенного происхождения. Свободный газ скапливается не снизу, а сверху газогидратного слоя.

Временные разрезы для двух профилей Телецкого озера на участках Ежон и Чорлок показаны на рисунке 1, глубины воды для которых составляют, соответственно, 300 и 290 м. Слои донных осадков озера очень газонасыщены и это хорошо видно на рисунке 1, где вместо параллельных слоев видны прогибы и просветленные участки, обусловленные изменением скорости звука и затуханием сигналов в газовой среде. Расстояние между профилями Ежон и Чорлок не более 3 км.

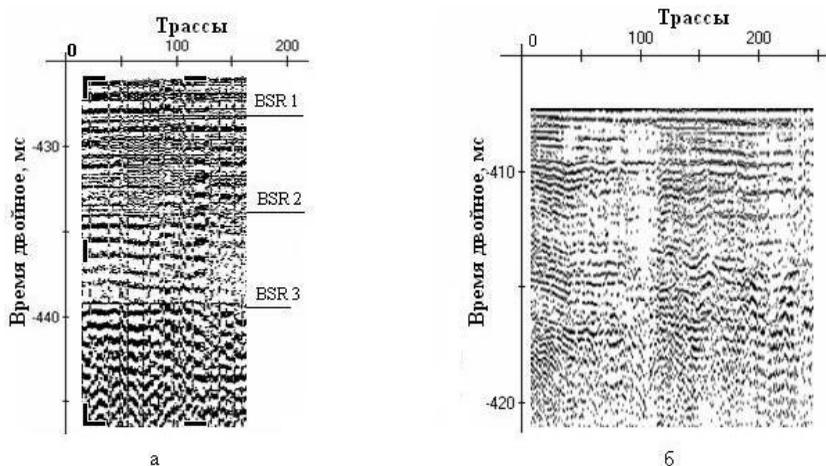


Рис. 1. Временные разрезы на участках Ежон (а) и Чорлок (б).

Интересные данные были получены нами при эхолотировании участков на хребте С.Лепневой и возвышенности вблизи устья реки Дербогачь. На рисунке 2 приведены эхограммы полученные с помощью эхолота, позволяющего регистрировать в электронную память снимки экрана эхолота, где только на одном участке (рис. 2г) отсутствует газовыделение.

Однако практически никто сегодня не верит в существование газогидратов в Телецком озере. Известно, что за последние 230 тыс. лет были две ледниковые стадии, во время которых температура воды на дне была существенно ниже, и в этих случаях термодинамические условия были достаточными для образования газогидратов, которые затем были законсервированы плотными ледниковыми отложениями.

Неоспоримым доказательством наличия газогидратов является их прямое обнаружение с помощью грунтозаборных трубок или бурения скважины. Чтобы добраться до газогидратного слоя на Ежоне, необходимо получить керн длиной 12-15 м. Это очень непросто осуществить зимой, так как в последние годы озеро здесь не замерзает, а из-за отсутствия подходящего обслуживающего судна нет возможности использовать в летнее время грунтозаборное оборудование, которое есть в ЛИН СО РАН. Бурение же глубоководной скважины связано с большими финансовыми затратами.

По нашим данным в районе Ежона в осадках присутствуют газогидраты, но здесь мощного газовыделения не наблюдается, так как газогидратные слои прикрыты плотными осадочными «щитами», сформированными в ледниковые периоды. Тогда как на узком хребте через слабые боковые стенки есть возможность выхода газов в воду. Конечно, для доказательства необходимо проведение большого объема работ по газовому анализу проб воды.

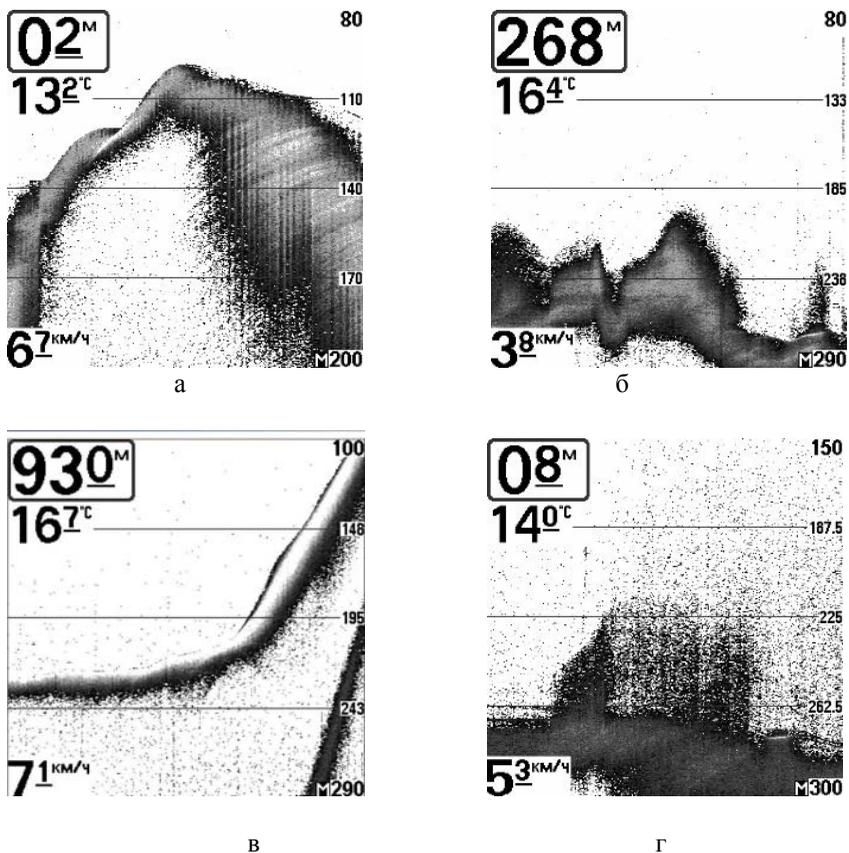


Рис. 2. Эхолотные профили для 4 участков Телецкого озера

Литература

1. Лужецкий В.Г. Высокора разрешающее сейсмопрофилирование Телецкого озера // ГЕО-Сибирь-2008. Т. 5. Недропользование. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых: сб. матер. IV междунар. науч. конгресса, 22-24 апреля 2008. – Новосибирск, 2008. – С. 169-173.
2. Лужецкий В.Г. Газогидраты в Телецком озере // ГЕО-Сибирь-2009. Т. 5. Недропользование. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых: сб. матер. V междунар. науч. конгресса, 22-24 апреля 2009. – Новосибирск, 2009. – С. 39-43.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ОСНОВЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА

В.К. Маев, А.А. Фоменко

*Институт вычислительной математики и математической геофизики
СО РАН*

REPRODUCTION OF REGIONAL HYDROPHYSICAL CHARACTERISTICS ON THE BASE OF REGIONAL CLIMATIC MODEL AND REANALYSIS DATA

V.K. Maev, A.A. Fomenko

*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS
foma@climate.sccc.ru*

На основе региональной климатической модели атмосферы с высоким пространственным разрешением проведены расчеты по воспроизведению текущего состояния климата Сибирского региона, при этом в качестве боковых граничных условий использовались данные реанализа ([NCEP/NCAR Reanalysis Project at the NOAA-CIRES Climate Diagnostics](#)) за период 1948-2009 гг. Основное внимание уделялось описанию гидрологических характеристик (осадки: крупномасштабные, конвективные, снег, испарение и пр.). Модель предназначена для изучения стока Сибирских рек. Предварительные результаты моделирования стока рек Обь-Иртышского бассейна позволяют надеяться на получение адекватного соответствия модельных и измеренных характеристик.

The calculations on reproduction of present climate of Siberian region on the base of regional climatic atmospheric model with high space resolution were reproduced. The reanalysis data ([NCEP/NCAR Reanalysis Project at the NOAA-CIRES Climate Diagnostics](#)) on 1948-2009 years were used as the lateral boundary conditions. The basic attention was give to description of hydrological characteristics such as precipitation (large scale, convective, snow), evaporation at al. The model assigns to investigation of Siberian rivers runoff. Preliminary results of modeling of Ob-Irtysh basin runoff allow to hope on production of adequate accordance of model and measured characteristics.

Использование региональных численных моделей динамики атмосферы обусловлено двумя факторами. Первый – это невозможность (техническая) использования глобальных моделей высокого пространственного разрешения для воспроизведения метеорологических характеристик синоптического и мезо-масштабов. Вторая причина, вообще говоря, тесно связанная с первой: недостаточно детальное описание физических процессов регионального масштаба глобальными моделями. Идеальное решение проблемы – это все же использование глобальных

моделей высокого пространственного разрешения. К сожалению даже на настоящий момент эта задача технически невыполнима. Все это побуждает для воспроизведения региональных атмосферных характеристик (синоптический и мезо-масштабы) использовать региональные модели, как правило, конечно-разностные либо конечно-элементные.

Основу разработок составляет базовая региональная модель, реализующая в конечно-разностном виде систему уравнений гидротермодинамики, описывающую атмосферные процессы в σ -системе координат (в качестве вертикальной координаты используется атмосферное давление, нормированное на его значение у поверхности Земли). Система базируется на основополагающих законах, к числу которых следует отнести следующие:

- второй закон Ньютона, выписанный во вращающейся системе координат, поскольку наша планета находится в постоянном вращении; математическая запись этого закона представляет собой проекцию ускорения на три направления соответствующих координатных осей (уравнения движения);

- закон сохранения массы применительно к движениям жидкости или газа, математически записывающийся в форме уравнения неразрывности;

- закон первого начала термодинамики, или закон сохранения энергии, применительно к тепловой энергии, представляемый в виде уравнения притока тепла;

- уравнение состояния, выражающее собой однозначную связь между давлением, плотностью воздуха и температурой и выражающее тот факт, что воздух в атмосфере можно считать идеальным газом;

- закон сохранения удельной влажности, обеспечивающий общий баланс влаги в атмосфере.

Исходная система уравнений обладает рядом интегральных инвариантов, учет которых необходим при конструировании конечно-разностных схем. Сохранение в конечно-разностном виде разностных аналогов этих интегральных характеристик позволяет проводить долгопериодное интегрирование. В статистическом смысле это должно обеспечить близость динамики атмосферы, воспроизводимой дискретной моделью, динамике непрерывной атмосферы.

Представляется, что выполнение дополнительных требований, обеспечивающих реалистичное энергетическое взаимодействие между волнами различных пространственных масштабов, может сыграть свою положительную роль при проведении климатических исследований, где выполнение интегральных законов сохранения просто необходимо. Интегральные инварианты, о которых идет речь, имеют фундаментальное значение и формулируются в виде следующих законов (кроме законов, перечисленных выше):

- закон сохранения полной энергии (при отсутствии диссипации и притоков тепла);

- закон сохранения углового момента (абсолютного момента количества движения) при зональном переносе;
- асимптотический закон сохранения потенциальной энтропии (в приближении уравнений мелкой воды).

Одновременное выполнение последнего закона и закона сохранения энергии приводит к асимптотическому закону сохранения среднего волнового числа. Это в свою очередь в конечно-разностном виде должно обеспечивать реалистичное энергетическое взаимодействие между волнами различных пространственных масштабов.

Численная модель атмосферы строится, исходя из требования выполнения конечно-разностных аналогов вышеперечисленных интегральных характеристик. Физические процессы, связанные с турбулентным обменом, конвективными движениями, радиационными притоками тепла, конденсацией водяного пара играют весьма важную роль при описании динамики атмосферы. Однако они не могут быть в большинстве своем описаны явно, ввиду того, что они имеют малые пространственные масштабы (т.е. масштабы этих процессов не могут быть явно разрешены в рамках крупномасштабных моделей). Поэтому учет этих факторов производится параметрически.

В модели предусмотрено несколько способов учета горизонтальной диффузии: это линейная и нелинейная схемы второго и четвертого порядков. Вычисление приземных потоков основано на теории подобия Монина-Обухова, где профили ветра и температуры зависят от внешних параметров и от приземных потоков момента и тепла. Потоки в пограничном слое вычисляются на основе теории длины смешения, при этом коэффициенты диффузии зависят от стратификации.

Основа метода параметризации конвективной облачности, реализованного в данной модели, принадлежит Куо. В схеме параметризации неконвективной облачности процесс конденсации происходит тогда, когда удельная влажность достигает состояния насыщения, но при этом избыточная влага не выпадает в виде осадков, пока не достигнуто одно из условий: достаточно холодная вершина облака, либо достаточно мощное облако.

Температура моря считается заданной на всем периоде интегрирования. Это предположение делается как для открытой воды, так и для водной поверхности, покрытой льдом. На суше выделяется тонкий слой почвы определенной теплоемкости, который обменивается теплом и влагой с атмосферой и глубокой почвой (деятельный слой почвы). Для расчета температуры почвы используется нестационарное уравнение теплового баланса для верхнего слоя почвы.

Таяние снега рассматривается всякий раз, когда снег присутствует, и температура суши превышает температуру таяния льда. В этом случае температура суши принимается равной температуре таяния льда, а поступающая энергия затрачивается на таяние снега. Влажность над морем

равна значению насыщения при данной температуре. Влажность почвы и снежный покров прогнозируются с учетом осадков, испарения, талой воды, стока и диффузии влаги в почву.

Радиационная схема, используемая в модели рассматривает аэрозольно-облачные эффекты поглощения и эффекты рассеяния аэрозолями, облаками и газами H_2O , CO_2 , O_3 . По вертикали на верхней границе атмосферы ставится естественное краевое условие свободной поверхности. На поверхности земли ставится кинематическое условие обтекания. Значения на боковых границах области считаются известными и получаются либо из данных прогноза по глобальной модели атмосферы, либо как в нашем случае из реальных данных.

Математическое моделирование текущего климата осуществлялось на основе данных реанализа (NCEP/NCAR Reanalysis Project at the NOAA-CIRES Climate Diagnostics) за 1948-2009 годы использованных в качестве боковых граничных условий. В частности основное внимание уделялось воспроизведению гидрологических характеристик, таких как осадки (крупномасштабные, конвективные, снег), испарение и пр. Следует отметить, что к данным реанализа в начальный период интегрирования следует относиться очень осторожно, т.к. их качество зачастую оставляет желать лучшего, что вполне объяснимо ввиду недостаточного количества гидрометеорологической информации в 40-50-е годы прошлого столетия. Использование региональной модели с разрешением $1/3$ градуса, покрывающей практически всю Сибирь и Дальний Восток позволяет надеяться на восполнение недостающих характеристик. Количество расчетных узлов по горизонтали составляет 324×122 . При этом с учетом использования полунезавной условно-устойчивой схемы интегрирования с шагом по времени 1 минута достигается возможность на расчет одного модельного года затрачивать 3 суток процессорного времени на многопроцессорном вычислительном комплексе на базе ALTIX 4700, включающем в себя 52 двухядерных процессора с пиковой производительностью 0.7 TFlops в рамках технологии параллельного программирования OpenMP ARB(Architecture Review Board).

Модель предназначена для изучения стока Сибирских рек в условиях изменений климата. Для этих целей в ИВМиМГ СО РАН разработана модель климатического речного стока для Сибирского региона. Она является линейной резервуарной с разрешением $1/3$ градуса. Модель составлена из линейных резервуаров в ячейках сетки. В каждой ячейке производится учет процентного содержания болот и озер. Модель содержит 20 речных бассейнов Западной и Восточной Сибири. На рисунке 1 представлена область интегрирования как региональной модели, так и модели речного стока. Черным прямоугольником выделена область Обь-Иртышского бассейна.

В качестве предварительной апробации по модели проведены расчеты климатического речного стока в Обь-Иртышском бассейне. Проведено сравнение результатов моделирования средноклиматических годовых стоков

на основе данных реанализа NCEP/NCAR с годовыми расходами, полученными на основе гидрологических съемок. Отличия составляют ~ 5%. Рассчитан годовой ход гидрографа для бассейна реки Оби. Полученные результаты показывают, что амплитуда гидрографа для Оби на створе Салехарда меньше климатических данных на 12%, а наступление весеннего половодья запаздывает по фазе на месяц. Сравнение с результатами, полученными по региональной модели и модели ИВМ РАН, представлено на рисунке 2.

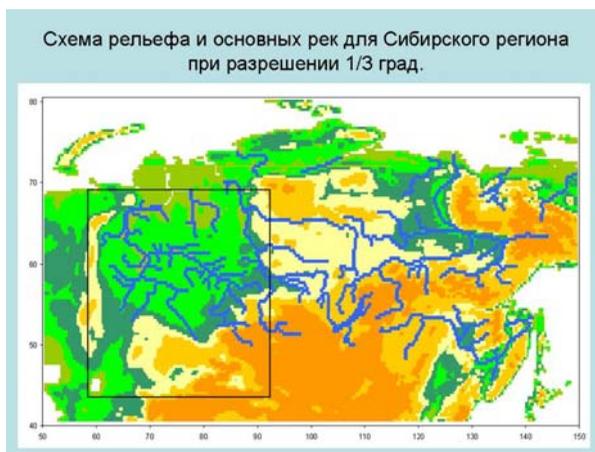


Рис. 1. Область интегрирования региональной модели и модели речного стока: черным прямоугольником выделена область Обь-Иртышского бассейна

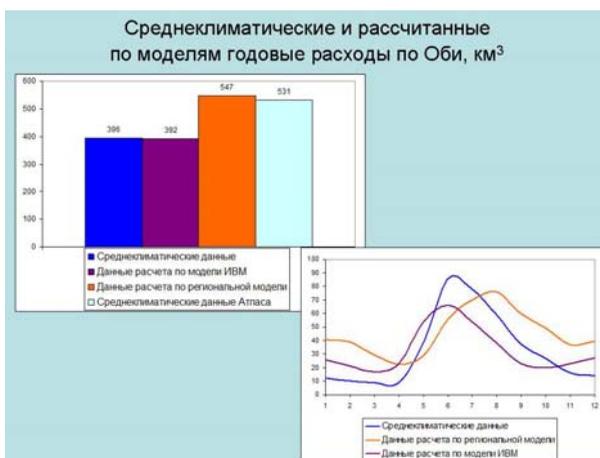


Рис. 2. Среднеклиматические и рассчитанные по региональной модели и модели ИВМ РАН годовые расходы по Оби, км³

Авторы выражают благодарность Лантевой Наталье Александровне за помощь в обработке и представлении результатов. Работа выполнена при поддержке РФФИ проект 09-05-13526-офи_ц.

РОЛЬ РЕЧНОГО СТОКА В УВЕЛИЧЕНИИ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРЕННОГО МЕТАНА В ВОДАХ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО ШЕЛЬФА

В.В. Малахова, Е.Н. Голубева

Институт вычислительной математики и математической геофизики

THE ROLE OF RIVER RUNOFF IN INCREASING OF DISSOLVED METHANE CONCENTRATION IN EAST SIBERIAN SHELF WATERS

V.V. Malakhova, E.N. Golubeva

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of SB

RAS, malax@sscc.ru,

elen@ommfao.sccc.ru

На основе крупномасштабной модели гидротермодинамики Северного Ледовитого океана с использованием данных реанализа NCEP/NCAR рассматривалась задача о выносе растворенного метана в Арктический океан со стоком сибирских рек Лена, Яна, Индигирка и Колыма. Для оценки вклада речного стока в общую эмиссию метана были рассчитаны его интегральные потоки для всей области Восточно-Сибирского шельфа. Получено, что поток метана в атмосферу может составить от 2000 до 12000 т в год в зависимости от рассматриваемого года и способа учета его окисления. Показано, что окисление метана обеспечивает его эффективный сток в пределах зоны распространения и способствует значительному уменьшению потока метана в атмосферу.

On the basis of regional large-scale the Arctic Ocean model, using data from NCEP / NCAR reanalysis examined the problem of the removal of dissolved methane in the shelf water with a drain of the Siberian rivers Lena, Yana, Indigirka and Kolyma. To estimate the contribution of river runoff in the total methane emissions, integrated fluxes for the East Siberian shelf were calculated. It was found that the methane flow into the atmosphere could be from 2,000 to 12,000 tons per year, depending on the year and the method of methane oxidation consideration. It is shown, that methane oxidation effectively controls CH₄ release to the atmosphere.

В ряде работ [1-3] показано, что роль Северного Ледовитого океана (СЛО) в глобальном цикле метана существенно занижена. Так в результате

экспедиционных исследований 2003-2008 гг. в Восточно-Сибирском море и море Лаптевых были выявлены шлейфы высокого содержания растворённого метана [3]. Концентрации растворенного метана в поверхностном слое воды в эстуариях сибирских рек колебались в пределах от 7 до 700 нмоль/л [1].

Часть этих аномалий ассоциируют с наземными источниками, поставляющими метан с помощью речного стока [1]. Действительно, водосборы сибирских рек находятся на территории с наличием многолетней мерзлоты, хранящей огромные запасы органического углерода. С другой стороны, допускается возможность разгрузки метана из газогидратных структур мелководного шельфа [3]. В этой связи становится актуальным выявление отдельного вклада пресноводных и морских арктических экосистем как источников метана на арктическом шельфе.

В данной работе рассматривается распространение растворенного метана, поступающего со стоком сибирских рек в воды шельфовой зоны СЛО. Исследование проводится на основе численных экспериментов с региональной моделью СЛО – Северная Атлантика, разработанной в ИВМиМГ СО РАН.

В результате работы численной модели с использованием данных реанализа NCEP/NCAR была восстановлена система взаимодействия водных масс Северной Атлантики и СЛО, включая циркуляцию вод в морях сибирского шельфа [4]. Распределение растворенного метана (C) в морской воде получено как решение адвективно-диффузионного уравнения для примеси.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \cdot \nabla C = Diffusion + C_{ox}$$

где u – скорость морских течений, *Diffusion* – описывает процесс горизонтальной и вертикальной диффузии метана на основе операторов второго порядка, C_{ox} – описывает сток метана, в частности, за счет его окисления.

На участках боковых границ, соответствующих местам впадения рек, использовались данные о среднеклиматическом сезонном изменении стока рек Арктического региона. Задание расхода рек сопровождалось заданием притока пресной воды (с нулевой соленостью) и повышенной концентрации метана. Источники растворенного метана задавались в эстуариях сибирских рек в пределах от 30 до 300 нмоль/л, в соответствии с данными измерений [1]. При этом для эстуария Оби была принята величина – 30 нмоль/л; Енисей – 70, Лены – 300, Индигирки, Колымы и Яны – 200 нмоль/л. В рамках описанной численной модели был реализован четыре численных эксперимента для временного интервала с 2002 по 2009 год.

В первом численном эксперименте С1 не учитывался процесс окисления метана ($C_{ox} = 0$). Результаты численного эксперимента показали, что сток реки Лены вносит весомый вклад в формирование аномально

высоких концентраций метана в шельфовых водах моря Лаптевых. В соответствии с динамикой речного стока максимальные концентрации (до 110 нмоль/л) появляются в мае. Дальнейшее распространение происходит в соответствии с системой течений в циклоническом направлении и к сентябрю высокие концентрации метана определяются в районе пролива Дм. Лаптева, что соответствует данным измерений [3].

В морских водах при наличии кислорода имеет место дополнительный биохимический процесс – окисление метана, которое обеспечивает его эффективный сток. Процессы его окисления были подробно изучены в Чукотском, Балтийском, Карском и Беринговом морях. Скорости окисления метана в морской воде составили при этом порядка 0,1-200 нл/л в день. Различные параметризации учета этого процесса в моделях обсуждаются в литературе [5-7].

Во втором эксперименте C_2 скорости окисления метана соответствовали данным измерений, проведенным для Берингова моря [6] от 1,4 до 2 нл/л в день, в зависимости от месяца. В численном эксперименте C_3 процесс окисления метана был реализован на основе подхода, предложенного в работе [7], где введен термин «turnover times» (время жизни) как мера, характеризующая время существования метана в растворенном виде в морской воде. В эксперименте C_3 мы использовали аналогичный подход, а именно, $C_{ox} = C / \tau$, где $\tau = 1,5$ года при морской глубине свыше 370 м и $\tau = 10$ лет на меньших глубинах.

В работе [5] на основе анализа данных по окислению метана в морской воде предложено эмпирическое соотношение для учета времени жизни метана в зависимости от его концентрации: $C_{ox} = C / \tau$, где $\log_{10} \tau = 1 - \log_{10} C$. В эксперименте C_4 окисление было реализовано на основе этого подхода.

Перенасыщение поверхностных вод растворенным метаном позволяет рассчитать поток газа в атмосферу. Расчет эмиссии метана проводился по методологии, описанной в [8]. Поток из шельфовых вод в атмосферу (F) рассчитывался как функция разницы концентрации растворенного метана в поверхностном слое воды (C_w , нмоль/л) и равновесной с атмосферой концентрации метана (C_a , нмоль/л, [9]), скорости ветра (V , м/с) и числа Шмидта (Sc):

$$F = 0.31V^2 \left(\frac{Sc}{660} \right)^{-0.5} (C_w - C_a)$$

Для оценки вклада речного стока в общую эмиссию метана были рассчитаны интегральные потоки метана вода-атмосфера с учетом поля его концентраций в морской воде, полученного в численных экспериментах. На рисунке приведены диаграммы с полученными оценками для всего летнего периода, когда отсутствует ледовый покров. Получено, что эмиссия метана в атмосферу могла составить от 4730 до 12250 т (CH_4) в зависимости от

рассматриваемого года в эксперименте C1, от 1700 до 6000 т – в C2, от 4400 до 10800 т – в C3 и от 2000 до 5800 т – в эксперименте C4. При этом уменьшение потока метана в атмосферу за счет учета в модели окисления составило для эксперимента C2 около 55 %, для C3 – около 15 % и для эксперимента C4 – 50% по сравнению с экспериментом C1. Результаты экспериментов C2 и C4 показали, что используемое эмпирическое соотношение [3] для расчета окисления метана хорошо согласуется с учетом скоростей окисления, характерных для данного региона.

В результате численного моделирования получено, что сток реки Лены может вносить весомый вклад в формирование высоких концентраций метана в воде в море Лаптевых. Выполненные эксперименты позволили оценить возможные потоки метана в атмосферу, которые могут составить от 2000 до 12000 тонн в год в зависимости от рассматриваемой параметризации окисления.

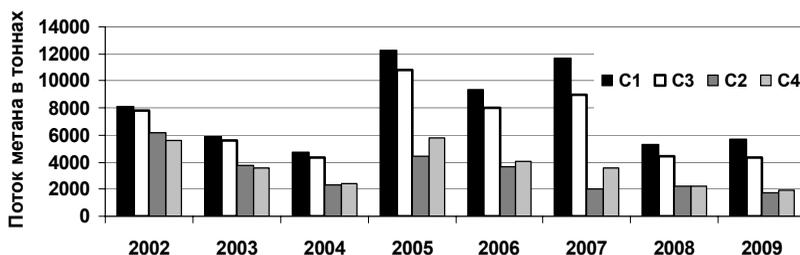


Рис. Суммарный поток метана в атмосферу, полученный для летнего периода в численных экспериментах C1, C2, C3 и C4, т

Работа выполнена при поддержке междисциплинарного ИП СО РАН №109, проекта РФФИ № 11-05-01075-а.

Литература

1. Shakhova N., Semiletov I. Methane release and coastal environment in the East Siberian Arctic shelf // Journal of Marine Systems. – 2007. – № 66. – P. 227-243.
2. Шахова Н.Е., Семилетов И.П., Бельчева Н.Н. Великие Сибирские реки как источники метана на Арктическом шельфе // Доклады Академии наук. – 2007. – Том. 414. – № 5. – С. 683-685.
3. Elliott S. Maltrud M, Reagan M., Moridis G., Cameron-Smith P. Marine methane cycle simulations for the period of early global warming // J. of Geophysical Research. – 2011. – V. 16. – G01010. doi:10.1029/2010JG001300.
4. Damm E., Mackensen A., Budeus G., Faber E., and Hanfland C. Pathways of methane in seawater: plume spreading in an Arctic shelf environment (SW-Spitsbergen) // Continental Shelf Research. – 2005. – V. 25. – P. 1453-1472.

5. Голубева Е. Н., Платов Г.А. Численное моделирование отклика Арктической системы океан-лед на вариации атмосферной циркуляции 1948 – 2007 гг. // Известия РАН, серия ФАО. – 2009. – Том.45. – № 1. – С. 145-160.
6. Valentine, D.L., Blanton, D., Reeburgh, W.S., Kastner, M. Water column methane oxidation adjacent to an area of active hydrate dissociation, Eel River Basin // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2001. –V. 65. – № 16. – P. 2633-2640.
7. Griffiths R.P., et al Field Observations of Methane Concentrations and Oxidation Rates in the Southeastern Bering Sea // Applied and environmental microbiology. – 1982. – V. 44. – № 2. – P. 435-446.
8. Wanninkhof R. Relationship between wind speed and gas exchange over the ocean // Journal of Geophysical Research. – 1992. – V. 97. – № C5. – P.7373-7382.
9. Wiesenburg D.A., Guinasso N.L. Equilibrium solubilities of methane, carbon monoxide and hydrogen in water and sea water // Journal of Chemical and Engineering Data. – 1979. – V. 24. – № 4. – P. 356-360.

СВЯЗЬ ИЗМЕНЧИВОСТЕЙ ПОТОКОВ ТЕПЛА В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ С ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ СИБИРИ В ПЕРИОД С 1960 ПО 2009 ГОДЫ

*Е.И. Морару, И.И. Ипполитов, С.В. Логинов
Институт мониторинга климатических и экологических систем СО
РАН, janey@sibmail.com*

CONNECTION OF VARIABILITY OF HEAT FLUXES IN THE NORTH ATLANTIC WITH HYDOMETEOROLOGICAL CONDITIONS OF SIBERIA IN THE PERIOD FROM 1960 TO 2009

*E.I. Moraru, I.I. Ippolitov, S.V. Loginov
Institute of Monitoring of Climatic and Ecological systems*

Проанализирована внутригодовая изменчивость температуры поверхности океана и потоков тепла. Исследование проводилось по данным реанализа ICOADS и метеорологических данных реанализа Reanalysis 20th v2. Также изучена их связь с изменчивостью осадков и температуры воздуха на высоте 2м на территории Сибири. Показано, что Ньюфаундлендская энергоактивная зона (ЭАЗО) за исследуемый период характеризовалась максимальным притоком тепла и их высокими связями с климатом Евразии. Изменчивость осадков в Сибири связана с изменчивостью испарения с поверхности Северной Атлантике. Максимальный коэффициент когерентности (0,75±0,9) между этими величинами приходится на территорию Сибири (Междуречье Оби и Иртыша, а также Забайкалья).

Intra-annual variability of sea surface temperature and heat fluxes is analyzed. The research was conducted with the use of the data of ICOADS reanalysis and meteorological data of Reanalysis 20th v2 reanalysis. Also their relationship with the variability of precipitation and temperature of air on the height 2 m on the territory of Siberia was studied. It is shown that the Newfoundland energy-active zone during the investigating period is characterized by a maximum of heat fluxes and high level of connection with the climate of Eurasia. Variability of precipitation in Siberia is associated with the variability of evaporation from the surface of the North Atlantic. The maximum coefficients of coherence between these values observed on the territory of Siberia (The Ob-Irtysh River and Transbaikalia).

В изучении изменчивости климата Евразии в период глобального потепления важное место занимает изучение связи между процессами в Северной Атлантике и климатом Евразии. Изменчивость гидрометеорологических величин играет важную роль среди основных климатически значимых сигналов в системе «океан-атмосфера». Она обнаруживается в характеристиках приземного воздуха, водных ресурсах суши, деятельного слоя океана, атмосферной циркуляции. Циклоны, распространяющиеся над Северной Атлантикой, переносят тепло и влагу в Евразию, где они могут формировать экстремальные аномалии температуры и осадков.

Целью настоящей работы являлось исследование изменчивости гидрометеорологических характеристик в указанных энергоактивных зонах, анализ корреляционных связей исследуемых величин и оценка влияния этой изменчивости на изменчивость температуры и осадков в Сибири.

Для анализа использовались среднемесячные данные судовых наблюдений реанализа ICOADS с пространственным разрешением $1^\circ \times 1^\circ$ за 1960÷2009 гг., описывающие температуру воздуха (T_{air}) и поверхности океана (SST), потоки явного (S) и скрытого (LE) тепла. Для описания метеорологических величин на территории Сибири применялся реанализ Reanalysis 20th v2 с пространственным разрешением $2^\circ \times 2^\circ$ за 1871÷2009 гг., описывающие количество осадков (pr) и температуру воздуха на высоте 2м (T_{2m}).

Для описания изменчивости гидрометеорологических величин в Северной Атлантике были выбраны три пространственных района, которые соответствуют известным энергоактивным зонам океана (ЭАЗО): Бермудской, Ньюфаундлендской и Норвежской (рис.1).

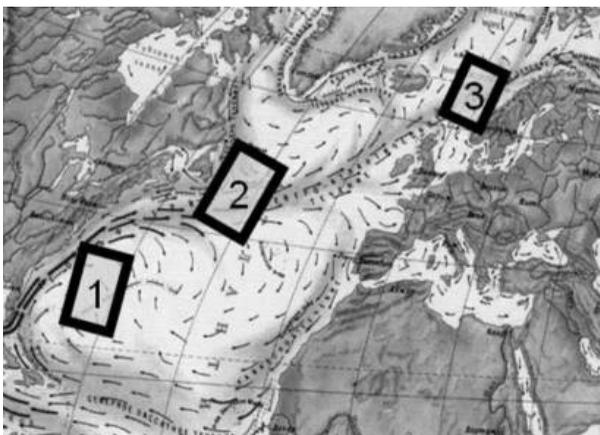


Рис. 1. Расположение энергоактивных зон в Северной Атлантике

Из анализа внутригодовой изменчивости SST, LE и S за период 1960÷2009 гг. следует, что SST увеличивалась от зимы к лету во всех исследуемых районах с максимумом в августе и минимальными значениями в марте. Наибольшее значение отмечалось в Бермудской ЭАЗО ($27,5^{\circ}\text{C}$), а наименьшее в Норвежской ($5,8^{\circ}\text{C}$). Наблюдалось уменьшение суммарного потока тепла (LE+S) от зимы к лету, а затем его увеличение. Установлено, что суммарный поток тепла максимален в Ньюфаундлендской ЭАЗО (116 В/м^2) и минимален в Норвежской (9 В/м^2). Во всех исследуемых районах преобладали положительные тренды температуры поверхности океана. Тренды потоков тепла положительны в Бермудской зоне, в Ньюфаундлендской ЭАЗО, за исключением зимних месяцев, и в отдельные месяцы в Норвежской ЭАЗО.

Для оценки связи изменчивостей гидрометеорологических характеристик Сибири (атмосферные осадки (pr), температуры воздуха на высоте 2м (T_{2m})) с потоками тепла, температурой воздуха и поверхности океана в Северной Атлантике применялся корреляционный анализ. На основе анализа внутригодовой изменчивости было установлено, что Ньюфаундлендская ЭАЗО в период 1960÷2011 гг. характеризовалась максимальным притоком тепла. Поэтому дальнейший анализ приведён только для Ньюфаундлендской ЭАЗО.

Аналізу подвергались пары, которые характеризуют связь изменчивости потоков тепла в Северной Атлантики с метеорологическими величинами Сибири. Наиболее информативными из них являлись $\{SST, pr\}$, $\{LE, pr\}$, $\{S, pr\}$, $\{SST, T_{2m}\}$, $\{LE, T_{2m}\}$, $\{S, T_{2m}\}$, $\{T_{air}, T_{2m}\}$. Для этих пар строилось распределение корреляционных связей по исследуемой территории. На сегодняшний момент замечены следующие особенности.

Корреляционный анализ показал, что высокие коэффициенты корреляции ($0,5 \div 0,6$) в Сибири за период 1960÷2009 г. выявлены между SST в Ньюфаундлендской ЭАЭО и осадками и температурой воздуха (T_{2m}). Связи потоков тепла в этой зоне с осадками и температурой воздуха в Сибири незначимы и не превышали $-0,3$ в Западной Сибири и $-0,4$ – в Восточной. В холодный период наблюдались положительные корреляции ($0,5 \div 0,6$ в марте) между SST в Ньюфаундлендской ЭАЭО и осадками и температурой воздуха на территории Сибири. В тёплый период анализируемые корреляции не превышали $0,2$ и $-0,2$.

При исследовании связи изменений температуры и осадков в Сибири с изменениями тепловых потоков в Атлантике учитывалось временное запаздывание, которое составляло 1-2 месяца. При увеличении величины запаздывания наблюдалось уменьшение корреляции между исследуемыми величинами. Максимальные силы связи наблюдались при сдвиге меньше месяца.

Спектральный анализ связей колебаний испарения в Ньюфаундлендской ЭАЭО Северной Атлантики с колебаниями осадков в Сибири проводился по рассчитанным коэффициентам когерентности. Он показал, что периодичности в 8,5 лет и 10,5-13 лет характеризуются наибольшей величиной связи ($0,7 \div 0,8$). Эта величина связи превышает коэффициент корреляции ($-0,3$) связи потока скрытого тепла в Северной Атлантике и осадков в Северо-Восточной Евразии.

Максимальный коэффициент когерентности между осадками в Сибири и температурой воздуха в Ньюфаундлендской ЭАЭО ($0,75 \div 0,9$) приходился на величины, связанные с влагопереносом. На территории Сибири можно выделить два очага с высокой когерентностью ($0,75 \div 0,9$). К ним относятся (рис. 2): Междуречье Оби и Иртыша (Западная Сибирь), а также территория Забайкалья (Восточная Сибирь).

Максимальный коэффициент когерентности тепловых потоков из океана в атмосферу и изменчивости осадков на суше ($0,7 \div 0,8$) наблюдался в период с 1960 по 1980 гг. Многообразие гидрометеорологических условий реализующихся на территориях Евразии и Северной Атлантики приводит к очаговому характеру пространственного распределения корреляционных и когерентных связей и требует более полного исследования.

По результатам анализа изменчивостей исследуемых величин в Северной Атлантике за период 1960÷2009 гг., а также корреляционного и спектрального анализов были выявлены некоторые особенности. Ньюфаундлендская ЭАЭО характеризовалась максимальным притоком тепла (116 В/м^2 в январе). При этом были выявлены высокие по величине коэффициенты корреляции ($0,5 \div 0,6$) между температурой поверхности океана в Ньюфаундлендской ЭАЭО и осадками, а также температурой воздуха в Сибири. На территории Сибири выделено два очага с высокой когерентностью ($0,75 \div 0,9$), к которым относятся Междуречье Оби и Иртыша, а также территория Забайкалья.

СТОК РЕКИ АМУР В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

П.В. Новороцкий

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, Россия

RUNOFF OF THE AMUR RIVER IN CONDITIONS OF A CHANGING CLIMATE AND ANTHROPOGENOUS FACTORS

P.V. Novorotsky

Khabarovsk, Institute of Water and Ecology Problems FEB RAS, Khabarovsk, Russia, novorockiy@ivep.as.khb.ru

За прошедшее столетие в бассейне Амура приземная среднегодовая температура воздуха возросла на 1,4°C. Минимальное потепление отмечается на побережье и в восточной части бассейна (0,4-1,1°C), максимальное – в северной континентальной (1,6°C). В последнее 30-летие интенсивность потепления на Амуре увеличилась в 3 раза по сравнению с периодом 1891-2008 гг. За период 1900-1975 гг. происходит рост годовых сумм осадков и годового стока со скоростью, соответственно, 1,2%/10 лет и 0,9%/10 лет. Годовые суммы осадков и сток за период 1976-2008 гг. в среднем в бассейне Амура уменьшаются, соответственно, со скоростью 3,2%/10 лет и 1,2%/10 лет.

For the last century the ground mid-annual temperature of air in basin of Amur has increased on 1,4 °C. The minimal warming is marked at coast and in east part of basin (0,4-1,1°C), maximal – in northern continental (1,6 °oC). In last 30 anniversary intensity of warming on the Amur has increased in 3 times in comparison with the period 1891-2008. For the period 1900-1975 there is a growth of the annual sums of precipitation and an annual runoff to speed accordingly 1,2 %/10 years and 0,9 %/10 years. The annual sums of precipitation and a runoff for the period 1976-2008 on the average in basin of Amur decrease accordingly with speed of 3,2 %/10 years and 1,2 %/10 years.

Крупные реки Дальнего Востока, к которым принадлежит Амур, наряду с другими природными объектами испытывают современные климатические изменения. Амур – одна из крупнейших рек мира. Длина ее от истока р. Аргуни составляет 4444 км. Общая площадь бассейна 1856000 км², в которую не включена бессточная область (164000 км²) р. Керулен. Протяженность амурского бассейна в широтном направлении превышает 3000 км, а с юга на север составляет около 2000 км. Среди российских рек Амур занимает третье место по длине и четвертое по площади водосбора и водности, уступает лишь Енисею, Оби и Лене [1].

Тенденции изменения климата в бассейне Амура в целом синхронны глобальным. На фоне многолетних колебаний в температуре воздуха выявлены устойчивые положительные тренды к потеплению. Оно происходит довольно устойчиво и продолжается до настоящего времени. За

прошедшее столетие среднегодовая температура воздуха в бассейне Амура возросла на 1,4°C. Минимальное потепление отмечается на побережье в восточном секторе бассейна, по мере продвижения вглубь континента его темпы усиливаются. Самое интенсивное потепление происходит в зимне-весенний период в континентальной части бассейна, до 2-4°C за 100 лет. Летом и особенно осенью скорость потепления снижается в 2-5 раз. На нижнем Амуре и на прилегающем морском побережье осенью выявлено небольшое похолодание – 0,4°C за 100 лет [2].

В теплое время года (апрель-октябрь) формируется от 73% (на побережье) до 94% (в западной части) годовой суммы осадков в бассейне Амура. В восточной и центральной части бассейна наиболее засушливые периоды характерны для первой половины XX века. В 1960-е и 1980-е годы в этих районах отмечается повышенная увлажненность. В западном секторе бассейна засушливые периоды (первое двадцатилетие XX века и 1970-е годы) сменились более увлажненным двадцатилетием (1930-1950) и десятилетием 1980-х. Относительно пониженный фон увлажнения в целом по всему бассейну Амура прослеживается после 2000 г. Суммы осадков за холодный период года в центральной и восточной частях бассейна, начиная с конца XIX века, постепенно увеличиваются до 1970-х годов, затем в центральной части бассейна наблюдается небольшое снижение сумм осадков, а на нижнем Амуре они продолжают расти до настоящего времени. Повышенные осадки за холодный период года в западном секторе бассейна Амура отмечались в 1900-е, 1940-1950-е и 2000-е годы, пониженные – 1970-1990-е годы.

Современный период потепления в бассейне Амура, как и во многих районах земного шара, отмечается с середины 1970-х годов. Интересно проследить, как в эти периоды изменяются атмосферные осадки и сток в бассейне Амура. С помощью линейных трендов было выявлено следующее. За период с 1900-1975 гг. годовые суммы атмосферных осадков в среднем по бассейну Амура увеличиваются со средней скоростью 1,2% за десятилетие. В период современного потепления с 1976-2008 гг. увлажненность бассейна уменьшается, происходит снижение годовых сумм осадков в бассейне Амура со средней скоростью 3,2%/10 лет.

Атмосферные осадки и речной сток в бассейне Амура изменяются относительно синхронно. Анализ данных по стоку Амура у с. Богородское, где проходит до 92% всего стока Амура показал следующее. Сток, на долю которого приходится примерно одна треть выпадающих осадков, имеет больший диапазон изменений за столетний период. Минимум осадков и стока отмечается в начале и конце периода наблюдений, а максимум – в его середине – 1940-е и 1950-е гг.

За период наблюдений 1900-1975 гг. был выявлен линейный тренд увеличения годового стока Амура со средней скоростью 0,9%/10 лет. В 1976-2008 гг., напротив, происходит снижение годового стока со средней скоростью 1,2%/10 лет.

При анализе выше выявленных тенденций снижения стока Амура за последние десятилетия, кроме климатических факторов и точности наблюдений, необходимо принимать во внимание также усиливающийся антропогенный прессинг. В амурском бассейне, начиная с 70-х годов прошлого века, активно развивается гидротехническое строительство. Именно в эти годы создаются водохранилища, некоторые из которых входят в число крупнейших в мире. В России это Зейское водохранилище (объем 68,4 км³), заполняемое в середине 1970-х годов, Бурейское водохранилище (22,5 км³), заполняемое с 2004-2007 гг. В Китае в бассейне Сунгари, одном из основных южных притоков Амура, имеется по крайней мере три крупных водохранилища (Фынмань, Байшань и Ниержи, последнее из которых, на реке Нонни, заполнялось с 2002 по 2006 год). Кроме этого имеется большое число малых водохранилищ и прудов, количество которых сложно оценить. Потери стока Амура за счёт аккумуляции его в водохранилищах могут быть оценены до 100 км³. По-видимому, снижение стока Амура в последние десятилетия обусловлено не только климатическими изменениями, связанное с потеплением климата и увеличением суммарного испарения, но также интенсивной хозяйственной деятельностью на исследуемом водосборе. Темпы хозяйственного освоения бассейна Амура особенно на китайской его части в дальнейшем будут только возрастать, поэтому влияние антропогенной составляющей изменений стока будут усиливаться. В настоящее время в связи с большой площадью и трансграничным положением Амура, неразвитостью гидрометрической сети в его бассейне, сложностью и трудностью получения необходимой для научных исследований информации не только в Китае и Монголии, но также и в России, довольно проблематично количественно оценить так называемую антропогенную составляющую изменений стока.

В многолетних колебаниях годового стока Амура за весь период наряду с линейными тенденциями отмечаются более короткие периоды повышенной и пониженной водности. Разностная интегральная кривая модульных коэффициентов стока и кривая колебаний годового стока позволили выделить маловодные и многоводные периоды стока. В целом, отмечался общий фон повышенной водности Амура у с. Богородское в следующие периоды: 1906-1916 гг., 1928-1943 и 1955-1966 гг. Пониженная водность наблюдалась в периоды: 1917-1927 гг., 1974-1980, 1999-2008 гг. В другие периоды: 1944-1954 гг., 1967-1973, 1981-1998 гг. годовой сток чередуется короткими 2-3 летними периодами пониженной и повышенной водности. Спектральное разложение многолетнего стока Амура позволило выявить статистически значимые циклы с периодом колебаний 4-5, 7, 12 и 28 лет [2].

Выявлена отрицательная корреляция между годовыми величинами стока, осадков и среднегодовой температурой воздуха в бассейне Амура. В случае осуществления прогнозируемого в 21 веке потепления в бассейне Амура имеется вероятность в среднем для всего водосбора снижение

количества атмосферных осадков, усиление засушливости климата и снижение стока.

Литература

1. Водно-экологические проблемы бассейна реки Амур / Под ред. А.Н. Махинова. – Владивосток: ДВО РАН, 2003. – 187 с.
2. Ким В.И., Махинов А.Н., Новороцкий П.В. Современные природные и антропогенные изменения климата, рельефа и речного стока в бассейне р. Амур // III Дружининские чтения: Комплексные исследования природной среды в бассейне реки Амур. Материалы межрегиональной научной конференции, Хабаровск, 6-9 октября 2009 г. Кн. 1. – Хабаровск: ДВО РАН, 2009. – С. 79-83.

ВНУТРИГОДОВОЙ РЕЖИМ СТОКА РЕК АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

В.В. Паромов, Л.Н. Шантыкова

Национальный исследовательский Томский государственный университет

INTRA-FLOW REGIME OF THE RIVERS OF THE ALTAI-SAYAN MOUNTAIN REGION TO CLIMATE CHANGE

V.V. Paromov, L.N. Shantikova

Tomsk State University

Выполнена оценка реакции сезонного стока и показателя формы гидрографа стока – коэффициента естественной зарегулированности на современные изменения регионального климата по состоянию изученности на 2009 год. В целом наблюдается рост расходов воды межлетних сезонов года при неизменных либо снижающихся расходах воды половодья. Можно констатировать существенную перестройку структуры внутригоддового режима стока рек исследуемого региона. Основной тренд – увеличение естественной зарегулированности стока рек рек Алтае-Саянской горной области.

In the present study performed evaluation of the reaction seasonal runoff, hydrograph shape parameter – the rate of natural regulation in the current regional climate change on the state scrutiny in 2009. In generally, an increase in the consumption of water low-water seasons of the year not changing or decreasing costs of water at high water. It can be noted a significant restructuring of the intra-flow regimes of rivers in the study region. The main trend – increase in the natural river flow regulation of rivers in Altai-Sayan mountain region.

Поверхностный сток, являясь интегральной характеристикой водного баланса речного бассейна, чутко реагирует на изменение климата. Внутригодовое его распределение формируется под воздействием таких факторов, как соотношение источников питания, сезонное распределение осадков, интенсивность снеготаяния и водоотдачи. Тенденция к потеплению, начавшаяся в середине 70-х годов XX века, стала наиболее выраженной во второй 90-х годов и первом десятилетии XXI века, которые относятся к самому теплomu периоду за время инструментальных наблюдений [1].

Основная цель исследования – оценить реакцию сезонного стока рек Алтае-Саянской горной области на современные изменения регионального климата по состоянию изученности на 2009 год. Исходный материал – среднемесячные и сезонные расходы воды по 70 гидрологическим постам в бассейне Верхней Оби и Верхнего Енисея за период 1954-2009 гг. Для анализа были выбраны только функционирующие створы. Границы гидрологических сезонов, принятые в работе, следующие: XI-III зимняя межень, IV-VI половодье, VII-X летне-осенняя межень.

Методика исследования. Подготовленные к анализу ряды среднесезонных расходов воды пересчитывались в модульные коэффициенты стока. При этом значение \bar{Q}_{cp} находилось за период 1954-1984 гг., условно стационарный, т.е. до начала интенсивного воздействия климатических изменений на показатели речного стока. Полученные ряды модульных коэффициентов подвергались сглаживанию по методу «4253N фильтр». Скользящие средние позволяют обнаруживать и отслеживать тренды в стоковых показателях, определять направление существующих трендов, а также выявлять происходящие в них изменения.

Для выявления локальных (районных) особенностей изменения сезонного стока в бассейне Верхней Оби сглаженные ряды модульных коэффициентов за период с 1965 по 2009 гг. подверглись кластер-анализу. В работе использовался иерархический алгоритм кластер-анализа – метод Уорда, в котором критерием качества кластеризации является процесс минимизации внутриклассовой дисперсии. Полученные в результате типовые районные временные ряды модульных коэффициентов явились основой для районирования бассейнов Верхней Оби и Верхнего Енисея по знаку и интенсивности отклика стоковых характеристик на современные климатические измерения.

Количественные показатели реакции речного стока определялись на основе тренд-анализа. В качестве математической модели описания выявляемых тенденций в стоке и климатических факторах, его определяющих, принят линейный тренд. Оценка вероятности существования тренда проводилась на основе применения нескольких статистических критериев: критерия наличия тренда u , критерия Питмена, критерия Аббэ [2-3].

Изменение речного стока. Реки Алтае-Саянской горной области по величине и знаку тенденции сезонного стока можно разделить на четыре группы, причем состав рек в группах свидетельствует о наличии территориально целостных районов.

Район 1. Включает реки среднегорных и высокогорных районов Центрального, Восточного и Юго-Восточного Алтая, а также, бассейн р. Ус (правый приток р. Енисей). Это реки, водосборы которых лежат в центре горной страны, огороженные со всех сторон высокими горными хребтами. Основной особенностью реакции стока на климатические изменения является статистически значимое увеличение расходов воды зимней межени (табл. 1). Увеличение теплого периода, более мягкие зимы, более раннее оттаивание и более позднее промерзание почвогрунтов приводят к увеличению доли подземного питания, которое и определяет, в первую очередь, величину минимального зимнего стока [4]. Сток половодья и летней межени остается стабильным. Причина этого – столкновение противоположных тенденций: с одной стороны, уменьшение зимних осадков компенсируется увеличением твердых весенних осадков, а летний рост температур воздуха – увеличивает испарение, с другой – растет объем талых вод высокогорных снежников и ледников [1].

Район 2. Объединяет реки, расположенные на северной и северо-западной периферии Алтайской горной области. Основной особенностью динамики сезонного стока рек района является статистически значимое снижение объемов стока половодья (табл. 1). Такая тенденция объясняется более значимым уменьшением сумм зимних осадков на северо-западной и северной периферии гор Алтая и отсутствием компенсирующего эффекта в виде обильных весенних осадков. Расходы зимней межени на реках района также увеличиваются. Из общей тенденции изменения объемов сезонного стока выбивается бассейн р. Песчаной. В створе с.Точильное наблюдается значительный рост стока летне-осенней межени, что в целом не характерно для рек данной территории.

Таблица 1 – Направление тренда в типовых для района рядах модульных коэффициентов стока

Район	Река (створ)	Гидрологический сезон		
		половодье	летне-осенняя межень	зимняя межень
Средние реки				
1	Кокши, Чулышман, Катунь (Тюнгур), Кокса, Терехта, Урсул, Белая, Ануй (Солонешное), Чарыш (Кумир), Ус (Усть-Золотая)	=	=	↑

Район	Река (створ)	Гидрологический сезон		
		половодье	летне-осенняя межень	зимняя межень
2	Сема, Каменка, Ануй (Ануйский), Маралиха, Локтевка, Большая Речка, Алей (Староалейское), Большая Лосиха (Косиха)	↓	=	↑
3	Майма, Иша (устье), Чапша	↓	∨	↑
4	<i>Чеченек, Чири, Песчаная, Б.Енисей (Тоора-Хем), М.Енисей (Усть-Ужеп), Б.Шушь, Оя, Кебеж, Абакан (абаза), Она, Б.Он, Бея, Казыр, Кизир, Амыл, Шадат, Копь, Ирба</i>	=	↑	↑
Полизональные реки				
1	Обь (Фоминское), Обь (Барнаул), Бия (Артыбаш), Бия (Кебезень), Бия (Турочак), Бия (Бийск), Катунь (Сростки), Чарыш (Белоглазово), Чарыш (Усть-Камышенка), Чарыш (свх. Чарышский)	=	∨	↑
2	<i>Енисей (Кызыл), Б.Енисей (Сейба), М.Енисей (Сарыг-Сен), Туба, Абакан (Райков)</i>	=	↑	↑

Примечание: курсивом выделены реки бассейна Верхнего. Енисея. ↑ и ↓ – статистически значимый положительный и отрицательный тренд; = – отсутствие тренда; ∨ – тенденция к снижению

Район 3. Объединяет реки низкогорной периферии северо-восточной провинции Горного Алтая. Основная особенность – тенденция к снижению стока не только половодья, но и летне-осенней межени, что не наблюдается на реках как первого, так и второго районов. Учитывая результаты анализа изменения приземной температуры воздуха и осадков в бассейне Верхней Оби [1, 5], можно предположить, что в данном случае, причина наблюдаемых изменений расходов летне-осенней межени – это рост летних температур воздуха и, соответственно, испарения, которое не компенсируется увеличением атмосферных осадков.

Район 4. Включает реки среднегорных и высокогорных районов Западного Саяна. Основной особенностью реакции стока на климатические изменения является статистически значимое увеличение расходов воды летней и зимней межени. Статистически значимый, но менее интенсивный рост расходов летне-осенней межени скорее всего объясняется увеличением летних осадков [5]. Сток за половодье остается стабильным (табл. 1).

Сезонный сток полизональных рек Алтае-Саянского региона (Оби, Бии, Катунь, Чарыша, Енисея, Абакана и Тубы), испытывая на себе разнонаправленные тенденции в рядах стока зональных средних рек,

является результатом сложения этих тенденций как статистически значимых, так и незначительных (статистически незначимых). В результате, проведенный анализ показал, что как годовой сток, так и сток за половодье в створах полизональных рек по состоянию изученности на 2009 г. стабилен: отсутствуют значимые изменения, что подтверждается и результатами работ других исследователей [6]. Сток летне-осенней и зимней межени изменяется в противофазе: если расходы воды зимней межени существенно увеличиваются, то расходы воды летне-осенней межени незначительно уменьшаются (табл. 1).

Учитывая интенсивный рост расходов меженного сезона, а также общую стационарность, либо снижение расходов воды половодья, можно ожидать общее увеличение естественной зарегулированности стока рек региона. Анализ рядов коэффициента естественной зарегулированности (φ) подтвердил данный вывод. На реках Алтае-Саянской горной области наблюдается общий рост зарегулированности, значения коэффициента φ выросли на всех реках исследуемого региона на 5-15 %.

Литература

1. Паромов В.В. Ресурсы речного стока бассейна Верхней Оби. – Томск: ТГУ, 2002. – 113 с.
2. Денисов П.П. Методика оценки тенденций в ходе речного стока // Метеорология и гидрология. – 1975. – № 4. – С. 101-104.
3. Христофоров А.В. Надежность расчетов речного стока. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 168 с.
4. Кичигина Н.В. Динамика характеристик стока рек бассейна Ангары на фоне региональных климатических изменений // География и природные ресурсы. – 2010. – №2. – С. 69-74.
5. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории РФ. Т. 1: Изменения климата. – М.: Росгидромет, 2008. – 289 с.
6. Изменение климата и его воздействие на экосистемы, население и хозяйство российской части Алтае-Саянского экорегиона: оценочный доклад / Под ред. А.О. Кокорина. – М., Всемирный фонд дикой природы (WWF России), 2011. – 168 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕСЯЧНОГО ВОДНОГО БАЛАНСА ВОДОСБОРОВ ТАЁЖНЫХ РЕК ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

О.Г. Савичев

Томский политехнический университет, OSavichev@mail.ru

MATHEMATICAL MODEL OF MONTHLY WATER BALANCE OF TAIGA RIVER BASINS IN THE WESTERN SIBERIA

O.G. Savichev

Tomsk polytechnic university, OSavichev@mail.ru

Предложена и апробирована модель годового и месячного водного баланса водосборов ряда рек Западной Сибири. Увеличение меженного стока в регионе удовлетворительно объясняется смещением сроков установления снегового покрова и снеготаяния, уменьшением испарения с поверхности водосборов при уменьшении температур воздуха в летний период и увеличением температуры в остальные месяцы года.

The model of elements of annual and monthly water balance of basins of the rivers of a taiga zone of Western Siberia is offered and approved. The increase observable of low water runoff well speaks displacement of terms of an establishment of a snow cover and snow melting, reduction of evaporation from a basin surface at reduction of temperatures of air and increase of temperature in other months of year even at absence of changes of annual precipitation.

Проведение предварительной оценки воздействия на водные объекты является обязательным условием строительства водохозяйственных сооружений. Однако несмотря на наличие весьма разработанного методического обоснования расчёта элементов водного баланса есть ряд неоднозначных вопросов определения характера и степени антропогенного влияния, что и определило цель рассматриваемой работы – разработку модели месячного водного стока, пригодной для оценки основных особенностей водного режима до и после строительства на основе доступной гидрометеорологической информации.

Модель базируется на использовании уравнений месячного и годового водных балансов, имеющих вид:

$$Y_m = X_m - E_m \pm \Delta U_m, \quad (1)$$

$$Y_y = X_y - E_y, \quad (2)$$

где Y_m и Y_y – значения слоя месячного и годового водного стока; X_m и X_y – значения слоя месячного и годового эффективного атмосферного увлажнения, представляющего собой сумму жидких атмосферных осадков и водоотдачи из снежного покрова; E_m и E_y – значения слоя месячного и

годового испарения с поверхности водосбора с учетом конденсации влаги; ΔU_m – изменение месячных влагозапасов в водосборе [1]. В среднемноголетнем разрезе для статистически однородного периода ориентировочно принимается $\Delta U_y \rightarrow 0$, что позволяет исключить этот элемент при рассмотрении годового водного баланса (2).

Расчёт параметров уравнений (1-2) проводится по двум вариантам: анализ данных наблюдений с целью получения «эталонных» значений элементов водного баланса (1); моделирование и/или прогноз водного стока и элементов водного баланса (2). В первом случае (анализ данных наблюдений) выполняется определение: эффективного атмосферного увлажнения по уравнениям (3-4); испарения с поверхности водосбора в тёплый период года – по методу М.И. Будько; стока – по данным наблюдений; изменений месячных влагозапасов – по уравнению (1).

$$X_m = P_m(l) + h_m(sm), \quad (3)$$

$$\frac{dW_{sn,m}}{dt} = P_m(h) - h_{sm,m} - E_m, \quad (4)$$

где X_m – месячное «эффективное» атмосферное увлажнение – сумма значений слоя дождей $P_m(l)$ и водоотдачи $h_m(sm)$ из сезонного снежного покрова, сформировавшегося в холодный период года; $W_{sn,m}$ – месячные влагозапасы в снежном покрове, определяемые как среднее для различных ландшафтов; $P_m(h)$ – месячные твердые атмосферные осадки.

Расчёт влагозапасов почвы проводится с первого месяца, в течение которого в среднем наблюдаются талые грунты или происходит их интенсивное оттаивание (в южнотаёжной подзоне Западной Сибири – обычно в апреле, в подзоне средней тайги – в апреле и мае). При этом начальное значение влагозапасов определяются путем подбора, исходя из условия $E_y - (X_y - Y_y) = 0$. При отрицательных температурах воздуха испарение с поверхности снежного покрова вычисляется по формуле П.П. Кузьмина.

Во втором случае (моделирование и/или прогноз водного стока и элементов водного баланса) расчёт водоотдачи из снежного покрова проводится в линейной зависимости от среднемесячной температуры атмосферного воздуха $T_{a,m}$, влагозапасов в снежном покрове – по сумме твёрдых атмосферных осадков (при отрицательной температуре атмосферного воздуха) за вычетом водоотдачи и испарения с поверхности снега, месячное испарение с поверхности водосбора в тёплый период года – приближённо по методу В.С. Мезенцева, в холодный период – по уравнению П.П. Кузьмина, изменение влагозапасов – по зависимостям вида:

$$\Delta U_m = k_{U,1} \cdot X_m - k_{U,2} \cdot T_{a,m} - k_{U,3}, \quad (5)$$

где $k_{U,1}$, $k_{U,2}$, $k_{U,3}$ – эмпирические коэффициенты, отражающие условия аккумуляции атмосферных осадков и талых вод в понижениях рельефа в пределах условно однородного гидрологического района.

Невязка расчётного водного баланса частично компенсируется за счёт использования уравнений вида (6) при допущении постоянства коэффициентов $k_{b,m}$:

$$Y_m = k_{b,m} \cdot (X'_m - E'_m \pm \Delta U'_m), \quad (6)$$

где $X'_m, E'_m, \Delta U'_m$ – расчётные значения эффективного увлажнения, суммарного испарения и изменения влагозапасов. Более подробное описание модели приведено в [2]. Моделирование антропогенных воздействий на водный сток и режим заключалось в использовании указанного выше алгоритма и исходных заданных значений морфометрических и климатических характеристик (варианты расчета: a – измеренный сток $Y_{т(ф)}$; измеренные снегозапасы $W_{sn,m(ф)}$; b – расчётные снегозапасы $W_{sn,m(p)}$; уменьшение лесистости водосбора на 20 %; увеличение заболоченности на 20 %; c – расчётные снегозапасы $W_{sn,m(p)}$; уменьшение лесистости на 20 %; увеличение заболоченности на 10 % и озёрности на 10%; d – расчётные снегозапасы $W_{sn,m(p)}$; уменьшение среднемесячной температуры воздуха на 1°C в июне-августе и увеличение на 1°C – в остальные месяцы; e – расчётные снегозапасы $W_{sn,m(p)}$; увеличение среднемесячных значений температуры воздуха и месячных осадков на 5 %). В результате выполненных расчётов были получены значения месячного и годового водного баланса, частично представленные в таблице.

Таблица 1 – Результаты расчёта элементов годового водного баланса речных водосборов

Река/створ	Вариант	X'_y , мм	Y'_y , мм	E'_y , мм	$T_{a,y}$, °C
РекаТым – с. Напас	a	603	268	336	–3,0
	b	603	268	336	–3,0
	c	603	268	336	–3,0
	d	603	349	254	–2,3
	e	623	304	319	–2,2
Река Кеть – с. Максимкин Яр	a	576	200	376	–2,1
	b	576	201	375	–2,1
	c	576	201	375	–2,1
	d	576	211	365	–1,6
	e	592	207	385	–1,4
Река Васюган – с. Средний Васюган	a	496	163	333	–1,1
	b	496	163	333	–1,1
	c	496	163	333	–1,1
	d	496	198	298	–0,6
	e	508	191	317	–0,5

Река/створ	Вариант	X_{y^*} , мм	Y_{y^*} , мм	E_{y^*} , мм	$T_{a,y}$, °C
Река Чая – с. Подгорное	<i>a</i>	485	106	379	–0,8
	<i>b</i>	485	106	379	–0,8
	<i>c</i>	485	106	379	–0,8
	<i>d</i>	485	134	351	–0,3
	<i>e</i>	496	126	370	–0,2

Их анализ позволил предположить, что наблюдаемое в последние десятилетия увеличение меженного речного стока и подземной составляющей суммарного стока удовлетворительно объясняется смещением сроков установления снегового покрова и снеготаяния, уменьшением испарения с поверхности водосборов при уменьшении температур воздуха в летний период и увеличением температуры в остальные месяцы года даже при отсутствии изменений годового атмосферного увлажнения.

В целом, изменение климатических условий является приоритетным фактором изменения среднесуточного водного стока в таёжной зоне Западной Сибири по сравнению с возможным антропогенным и/или природными изменениями лесистости и заболоченности водосборов. Таким образом, рассматриваемая модель может быть использована для анализа современной гидрологической ситуации и обобщённой оценки антропогенного воздействия на среднесуточный водный сток малых и средних рек и его внутригодовое распределение.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 11-05-9800-р_сибирь_a) и ФЦП 2012-1.1-12-000-1008, 2012-1.9-11-519-0019.

Литература

1. Loucks D.P., Van Beek E. Water resources systems planning and management. – Turin: UNESCO Publishing, 2005. – 679 p.
2. Савичев О.Г., Бернатонис П.В., Бернатонис В.К. Гидрологическое обоснование хозяйственного освоения торфяных болот (на примере водосбора реки Ключ, Западная Сибирь) // Известия Томского политехн. ун-та. – 2012. – Т. 320. – № 1. – С. 5-9.

ПРИОРИТЕТНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ВОДНО-РЕСУРСНОЙ СИСТЕМЫ НОВОСИБИРСКОГО ГИДРОУЗЛА

*В.М. Савкин, С.Я. Двуреченская
ИВЭП СО РАН, Новосибирский филиал, Новосибирск,
savkin@ad-sbras.nsc.ru, dvur@ad-sbras.nsc.ru*

PRIORITIES OF NOVOSIBIRSK HYDROSYSTEM'S WATER STORAGE UTILIZATION

*V.M. Savkin, S.Ya. Dvurechrenskaya
IWEP SB RAS, Novosibirsk Department, Novosibirsk*

Анализируется использование водных ресурсов Новосибирского водохранилища сложившимся водохозяйственным комплексом и изменение приоритетов в их использовании на различных этапах существования водоема. Приводятся особенности природных и антропогенных факторов, регламентирующих освоение водных ресурсов водохранилища для питьевого водоснабжения, являющегося приоритетным на современном этапе. Указываются основные противоречия, складывающиеся среди участников водохозяйственного комплекса. Предлагаются пути оптимизации использования водных ресурсов водохранилища в перспективе.

Water management of Novosibirsk reservoir water storage in multipurpose water-resources scheme and shift of emphasis on different steps of its utilization were analyzed. The natural and anthropogenic features effecting on water use for drinking water supply were discussed. The main conflicting objectives of water-resources scheme members were pointed. The techniques of optimization water management of Novosibirsk Reservoir were suggested.

Обь-Иртышский бассейн в целом богат водными ресурсами, среднемноголетний сток которых оценивается около 400 км³. Однако несмотря на внушительную суммарную величину водных ресурсов по территории бассейна они распределены крайне неравномерно. Более 68% стока приходится на малообжитые и малопригодные для сельскохозяйственного освоения территории среднего и нижнего течения р. Обь, в то время как аграрные и индустриально развитые регионы южной части бассейна испытывают недостаток в воде. Наиболее острый дефицит водных ресурсов на территории бессточной зоны, где формируется только 1,5 % поверхностного стока бассейна [1].

Новосибирский гидроузел на р. Оби был создан с энергетической целью, что являлось приоритетной задачей в середине XX века. Однако усиление антропогенного пресса на водные ресурсы Новосибирского водохранилища в дальнейшем привело к смене приоритета в водопользовании, и оно в большей степени приобрело водоснабженческие функции. В настоящее время его водные запасы используются сложившимся

водохозяйственным комплексом (или по современной терминологии) сформировавшимися компонентами водно-ресурсных систем: водоснабжение (в основном питьевое), энергетика, орошение, рыборазведение, рекреация. В целом в Новосибирской области лидирующими по количеству потребляемой воды являются питьевое водоснабжение населения и обеспечение промышленности. В Алтайском крае – сельскохозяйственное водоснабжение. Изменение приоритетов в использовании водных ресурсов Новосибирского гидроузла иллюстрирует таблица 1.

Таблица 1 – Приоритеты в использовании водных ресурсов Новосибирского водохранилища в разные периоды его эксплуатации

1959-1975 гг.	С 1975 г. по настоящее время
Энергетика	Водоснабжение
Водоснабжение	Обеспечение водой отраслей хозяйства
Водный транспорт	нижнего бьефа
Рыбное хозяйство	Энергетика
Обеспечение водой отраслей хозяйства	Рекреация
нижнего бьефа	Рыбное хозяйство
Орошение, мелиорация	Водный транспорт
Рекреация	Орошение, мелиорация
	Обводнение поймы нижнего бьефа

После создания водохранилища минимальные зимние расходы воды р. Обь у г. Новосибирска увеличились с 90 м³/сек до 450 м³/сек, а навигационные (в период летне-осенней межени) повысились с 750 до 1300 м³/сек. Опыт комплексного использования водных ресурсов Новосибирского водохранилища в течение 50-ти лет показал, что при современных и перспективных отборах воды в верхнем бьефе и повышенных попусках в нижний бьеф, при обеспеченности по водности зимней межени более 60% возможен дефицит водных ресурсов полезного объема водохранилища от 1,0 до 1,5 км³. В современных условиях это приводит к вынужденному понижению уровня водохранилища ниже УМО на 0,5-1,5 м, что наносит ущерб как водохозяйственному его использованию, так и сформировавшимся экосистемам. В настоящее время водные ресурсы водохранилища еще позволяют существенно улучшать санитарные условия реки в черте г. Новосибирска и обеспечивать бесперебойную работу городского водопроводного хозяйства увеличенными попусками в меженные периоды, поддерживать судоходные условия на участке р. Оби от г. Новосибирска до устья р. Томи. Насущной становится проблема дополнительного зарегулирования стока Верхней Оби в интересах многоотраслевого водохозяйственного комплекса [2].

Особое значение Новосибирское водохранилище приобрело в связи с необходимостью устойчивого водообеспечения коммунального хозяйства г. Новосибирска, водозаборы которого расположены ниже плотины ГЭС. Из

общего объема воды промышленные и коммунальные предприятия на рассматриваемом участке бассейна Оби 11 % забирают из водохранилища, а 89% – из нижнего бьефа. Устойчивость водопользования рассматривается как важнейший вид общего природопользования и положено в основу перспективного развития региона. Новосибирское водохранилище обеспечивает круглогодичное водоснабжение городов, крупных населенных пунктов и промышленных предприятий Новосибирской области и Алтайского края. Проблема питьевого водоснабжения в современных условиях приобрела особую актуальность в связи с почти повсеместным загрязнением поверхностных водных объектов, используемых в качестве коммунально-питьевых источников воды и одновременно объектов водоотведения.

В связи с существующими противоречиями между отдельными участниками сложившегося водохозяйственного комплекса водохранилища, особенно между энергетическим его использованием и рыбным хозяйством, как в верхнем, так и в нижнем бьефах, обусловленных его малой регулирующей призмой, актуальной необходимостью современности является разработка научно-обоснованной стратегии оптимального использования водных ресурсов водохранилища. Известно, что высокий уровень антропогенного загрязнения является одной из основных причин, вызывающих деградацию рек, водохранилищ и озерных систем. При этом помимо стационарных источников загрязнения, высокую степень негативного воздействия на водные объекты оказывает рассредоточенный (диффузный) сток с сельскохозяйственных и селитебных территорий, площадей занятых отвалами и твердыми отходами промышленного производства, выпадения загрязняющих веществ в водные объекты и на территории водосборов из атмосферы, в том числе с осадками, а также трансграничные загрязнения. Все эти аспекты фундаментальной проблемы водных ресурсов, в той или иной степени, свойственны перспективному освоению водных ресурсов Новосибирского водохранилища. Это относится и к участку р.Оби ниже плотины ГЭС, где продолжается массовое рекреационное, в том числе и жилищное строительство без учета нормативных правил и организации водоохраных мероприятий.

Особенности изменения гидрологического режима водохранилища в многолетнем аспекте влияют на формирование водных экосистем, процессы эвтрофирования водоема, его биопродуктивность, гидрохимию и качество воды в отдельные годы и сезоны. Сравнительный анализ гидрологического режима Новосибирского водохранилища за многолетний, годовой и сезонный периоды показывает, что наблюдается увеличение повторяемости маловодных лет и проявление маловодных циклов, состоящих из 2-3 и 4 лет, а также уменьшение водности весеннего сезона. В многолетнем разрезе происходит постоянное снижение среднегодовой величины водности. Наблюдается уменьшение коэффициентов водообмена в водохранилище за весенние сезоны и в целом за год. Среднегодовой коэффициент водообмена

снизился до 6,43 (при среднемноголетнем – 6,62), изменение коэффициентов водообмена в весенние сезоны составляет от 3,03 до 3,11. Многолетний режим уровней воды в водохранилище стабильно характеризуется тремя основными фазами: повышением уровней воды при заполнении чаши водохранилища стоком р. Оби в период весеннего половодья; летним стабилизированным стоянием уровней на отметке НПУ и близких к ней; понижением уровней воды при осенне-зимнем использовании водных запасов. Как показывает анализ, режим уровней воды в водохранилище и его основные фазы по годам отличаются как по продолжительности, так и по срокам начала и окончания. В течение последних 20 лет наблюдается значительное сокращение продолжительности стабилизации уровня воды на отметке НПУ, которая в отдельные годы была в 2 раза меньше среднемноголетней величины.

За счет срезки пика весеннего половодья (наличие Новосибирского водохранилища) появилась возможность более рационального использования пойменных угодий р.Оби в нижнем бьефе гидроузла. За последние 20 лет благодаря регулируемым пускам из водохранилища на фоне маловодной фазы многолетнего цикла природной водности, пойма затапливалась лишь несколько лет. Все это способствовало развитию дачных хозяйств в Обской пойме и на террасах, что в условиях повышения водности создаст дополнительные трудности для населения.

Несмотря на то, что Новосибирское водохранилище осуществляет лишь неполное сезонное регулирование стока и проектом не предусмотрен режим защиты нижнего бьефа от весеннего половодья и дождевых паводков, полезная его емкость позволяет снизить максимальные расходы воды с обеспеченностью 30 % и выше, при этом уровни реки по водомерному посту Новосибирск не превышают критической отметки 400 см над «0» графика водпоста Новосибирск.

Однако следует отметить существенное обстоятельство, осложняющее работу городских водозаборов нижнего бьефа в меженные периоды, что вызывает повышенные пуски из водохранилища. Это посадка уровней воды в р. Оби ниже плотины ГЭС, распространяющаяся на несколько десятков километров. Такой процесс вызван как влиянием водохранилища, являющегося отстойником для твердого стока и поставляющим в нижний бьеф осветленную воду с повышенной размывающей способностью, так и карьерными разработками песчано-гравийной смеси из русла реки для строительных целей. Посадка уровней по Новосибирскому водному посту, находящемуся на расстоянии 20 км ниже плотины за период существования ГЭС составила 1,6 м и несмотря на сокращение добычи песчано-гравийных материалов продолжается. По прогнозам МГУ к 2050 году общая посадка уровней увеличится еще на 0,4-0,7 м. В связи с этим реконструкция водозаборов г. Новосибирска становится актуальной современной проблемой, исходя из водохозяйственных и экологических условий.

Особенности многолетних изменений гидролого-гидрохимического режима водохранилища существенно влияют на формирование водных экосистем, процессы эвтрофирования водоема, его биопродуктивность и качество воды в отдельные годы и сезоны. Для обеспечения устойчивого хозяйственно-питьевого водоснабжения полуторамиллионного г. Новосибирска, городов и поселков области, а также в связи с наметившимися противоречиями между отдельными участниками сложившегося водохозяйственного комплекса водохранилища, особенно между энергетическим его использованием и рыбным хозяйством как в верхнем, так и в нижнем бьефах, обусловленных его малой регулирующей призмой, актуальной необходимостью современности является разработка научно-обоснованной стратегии оптимального использования водных ресурсов водохранилища, соответствующего информационного обеспечения водохозяйственных органов.

Химический состав воды в Новосибирском водохранилище формируется, в основном, за счет стока р. Оби, а поступление химических веществ по основной реке в приходной статье баланса является преобладающим (93-95%). На формирование режима биогенных элементов в верхней части водохранилища основное влияние оказывает гидрохимический сток р. Оби, а на остальной акватории содержание биогенных элементов определяется в основном внутриводоемными процессами [3]. В отдельные гидрологические сезоны воды водохранилища загрязняются нефтепродуктами, фенолами, а также нитритами и соединениями, содержащими ионы аммония. Условия формирования качества воды в водохранилище тесно связаны с дальнейшей организацией водоохраных зон и поддержании на территории собственного водосбора водохранилища нормативного режима.

Литература

1. Винокуров Ю.И., Зиновьев А.Т., Ловцкая О.В., Савкин В.М. Региональные проблемы устойчивого водопользования на юге Западной Сибири // Сб. научных трудов Всероссийской конференции «Стратегические проблемы водопользования России», Азов. – М.: Изд-во НОК, 2008. – С. 323-333.
2. Хабидов А.Ш., Леонтьев И.О., Марусин К.В., Шлычков В.А., Савкин В.М., Кусковский В.С. Управление состоянием берегов водохранилищ. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2009. – 235 с.
3. Двуреченская С.Я. Исследование изменчивости гидрохимического режима по акватории Новосибирского водохранилища // География и природные ресурсы. – 2007. – № 4. – С. 74-79.

КЛИМАТИЧЕСКАЯ ОБУСЛОВЛЕННОСТЬ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА РЕКАХ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕК И ВОДОЁМОВ В ГОРАХ ЮГА СИБИРИ

В.А. Семёнов¹, И.В. Семёнова², Т.В. Больбух³, Е.И. Авдюшкина³

¹ – ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»

² – ФГБУ «НПО «Тайфун»

³ – Горно-Алтайский госуниверситет

CLIMATIC CAUSALITY OF EXTREME HYDROLOGICAL EVENTS ON RIVERS AND ECOLOGICAL STATE OF MOUNTAIN RIVERS AND WATER BODIES IN SOUTHERN SIBERIA

V.A. Semyonov¹, I.V. Semenova², T.V. Bolbuh³, E.I. Avdyshkina³

¹ – «РИНМИ-WDC», semven@meteo.ru,

² – RPA «Typhoon», irina.semenova@gmail.com

³ – Gorno-Altaysky State University

Совместный анализ изменения климатических факторов формирования стока, опасных осадков и наводнений, маловодий на реках свидетельствует об увеличении экстремальности гидрометеорологических явлений. Изменение качества воды рек и водоёмов зависит от совокупности природно-климатических условий.

Joint analysis of the change in climatic factors of runoff formation, hazardous precipitation and floods, as well as low water on rivers is indicative of increasing extremality of hydrometeorological events. The water quality change in rivers and water bodies is dependent on the aggregate of natural and climatic conditions.

Оценка климатической обусловленности изменений экстремальных гидрометеорологических явлений, гидрохимического режима рек, экологических последствий этих изменений для водоёмов гор и предгорий юга Сибири имеют научное и практическое значение. Информационной основой для оценок послужили результаты многолетних стационарных гидрологических и гидрохимических наблюдений Росгидромета, созданная в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» база сведений об опасных метеорологических и гидрологических явлениях за 1991-2010 гг., результаты многолетних экспедиционных гидрохимических исследований водоёмов в различных высотных зонах гор.

Изменения климатических факторов (температуры, осадков, снегозапасов). Анализ наблюдений за 1976-2011 гг. на всей сети метеорологических станций азиатской территории России показал, что

наиболее интенсивное и статистически значимое повышение температуры воздуха произошло на юге Западной Сибири [1]. Весной потепление охватило всю Западную Сибирь, причем на юге Западной Сибири тренды статистически значимые и наиболее интенсивные, достигающие $0,7-0,8^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Количество осадков холодного полугодия (октябрь-март) за этот период увеличивалось, и положительные тренды составляли $10-20\text{мм}/10$ лет, с их достоверностью на 95% уровне. Такие значения положительного тренда зимних осадков наблюдались до 2010 г. на западных отрогах Алтая и Западных Саян, тогда как в высокогорных районах и межгорных котловинах было даже небольшое уменьшение количества осадков. Анализ изменения максимальных запасов воды в снежном покрове (далее снегозапасов) по данным маршрутных снегосъемок на полевых и лесных участках за 1976-2010 гг., приведённых на сайте ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», свидетельствует об их уменьшении на лесных участках юга Сибири. Весенние осадки за 1976-2010 гг. увеличивались почти повсеместно, но наиболее интенсивно – на юге Западной Сибири. В летний период 2001-2010 гг. отмечалось увеличение осадков в бассейне Енисея, но уменьшение в бассейне Верхней Оби. В осенний период 1976-2010 гг. уменьшались осадки в Забайкалье и на Алтае.

Изменения среднего годового и максимального стока половодья. Испытания на тренд за 30-летие с середины XX столетия до середины 80-х годов показали, что на преобладающем фоне отсутствия значимых изменений среднего годового стока наблюдалось его увеличение у рек с бассейнами западной ориентации в Горном Алтае и Западном Саяне, а в тот же период для рек бассейна Катунь, Верхнего Енисея и других, формирующих сток во внутриматериковых районах, были характерны отрицательные тенденции изменений годового стока. В тот же период в изменениях максимального стока половодья преобладали тоже отрицательные тенденции.

В последний 30-летний период, характеризующийся более интенсивным потеплением, наибольшие изменения произошли в экстремальном стоке. Вследствие более интенсивных весенних потеплений, которые за более короткое время охватывают все высотные зоны и способствуют тем самым одновременному снеготаянию на большей, чем до потепления площади бассейна (с одновременным увеличением количества жидких осадков в период половодья), отрицательная направленность изменений максимального стока с 80-х годов у рек Алтая и Саян сменилась на положительную. Это обусловило увеличение повторяемости опасных наводнений в горных и предгорных районах с нанесением ущерба экономике и экологии.

Изменение повторяемости опасных наводнений и их связь с опасными дождями. Анализ пространственно-временного изменения опасных дождей

и паводков за 20-летний период свидетельствует, что на реках Сибири наибольшая суммарная за год продолжительность опасных паводковых наводнений приходилась на середину первого десятилетия XXI века, а экстремальное повышение количества опасных дождей в 2008-2009 гг. не привело к росту опасных паводочных наводнений (рис.).

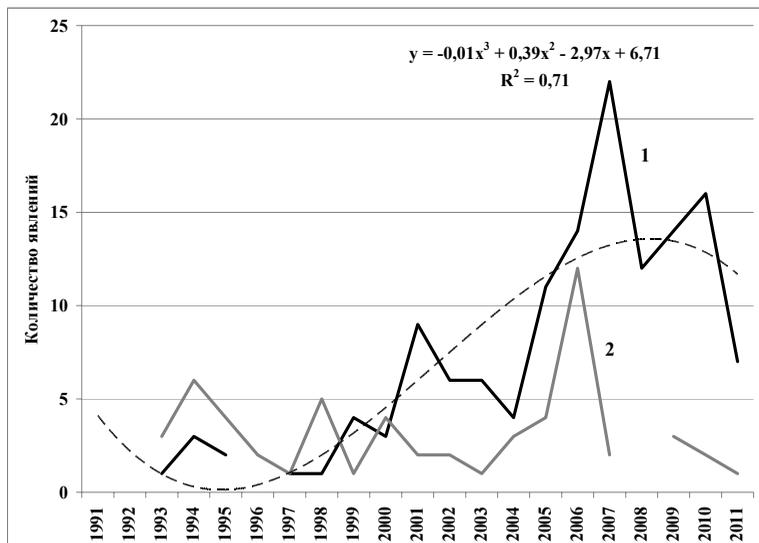


Рис. Изменение количества опасных дождей и паводочных наводнений за 1991-2010 гг. на территории Сибири: 1 – дождь; 2 – наводнение в паводок

Причиной формирования опасных паводков кроме обильных дождей бывают интенсивные ливни, которые обуславливают обычно опасные паводки на малых реках, наносящих ущерб населённым пунктам и чаще всего фиксируются коммунальными службами. Повторяемость таких паводков, обусловивших ущерб, особенно возросла в первом десятилетии XXI века.

Изменения меженного стока и маловодий рек. Анализ изменений за рассматриваемый период минимального стока рек Алтае-Саянского региона свидетельствует о преобладании его положительных тенденций в зимнюю межень и уменьшения в период летней. Это и увеличение продолжительности летней межени обуславливают существенный рост повторяемости экстремальных маловодий на реках предгорий, особенно в бассейне Верхней Оби (табл.).

Таблица – Изменение продолжительности (суток) низкой межени с учтенным ущербом на реках территории субъектов Федерации юга Западной Сибири за 1993-2009 гг.

Название субъекта	1993	1997	1998	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Республика Алтай								34	118		
Алтайский край		18		30	88	82	106	51	120	162	73
Кемеровская обл.					31	82	85				

Из климатических факторов увеличению частоты наступления опасных маловодий способствуют уменьшением количества летних осадков и увеличение продолжительности засушливых периодов летом [1] .

Изменения качества воды рек и озёр. Статистический анализ химического состава воды рек Горного Алтая показал, что у рек с бассейнами западной ориентации на фоне увеличения среднего годового стока наблюдалось незначительное снижение рН воды, уменьшение её суммарной минерализации и концентрации гидрокарбонат-ионов, а концентрация сульфат- и хлорид-ионов оставалась неизменной (р. Ануй) или незначительно снижалась (р. Песчаная). Для рек, формирующих сток во внутриконтинентальных районах, на фоне снижения среднегодового стока характерно как снижение рН воды (р.Чарыш), так и рост водородного показателя (р.Бия), увеличение суммарной минерализации воды, концентраций сульфат- и хлорид-ионов, ионов кальция (в пределах 10%). В воде рек бассейна Телецкого озера произошло увеличение рН воды во всех реках, незначительное увеличение суммарной минерализации воды в реках Чулышман, Кокша и Яйлю, но она не изменилась в реках Артыбаш и Кыга.

Результаты химического анализа проб воды, отобранных из озёр Горного Алтая, свидетельствуют о значительных различиях реакции водоёмов на современные изменения климата и антропогенной нагрузки, определяющих их экологическое состояние. Вода мало минерализованных олиготрофных озёр гляциально-нивального пояса Катунского хребта (бассейн р. Мульта и др.) за 70-летний период (1933-2003) из группы «нейтральная» перешла в группу слабо «кислая», т.к. величина рН в ней изменилась от 6,8-7,3 по данным О.А. Алёкина [2] до 5,3-6,2 (в настоящее время). В мезотрофных озёрах высокогорий и плато Укок и Чулышманского (бассейны рек Аргут, Чулышман) вода остаётся нейтральной. Возможной причиной замедления их эвтрофирования является многолетняя мерзлота, распространённая на плато.

Наиболее уязвимыми в отношении ухудшения экологического состояния воды являются небольшие, бессточные и малопроточные озёра и озёрно-болотные экосистемы межгорных котловин низкогорий и среднегорий, водный, термический и солевой баланс которых наиболее подвержен изменениям с повышением температуры воздуха,

обуславливающей увеличение продолжительности вегетационного периода, интенсификации зарастания и заболачивания водоёмов. Но наблюдавшееся увеличение количества летних осадков в межгорных котловинах благоприятствует экологическому состоянию водоёмов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 11-05-00691).

Литература

1. Шерстюков Б.Г. Сезонные особенности изменений климата за 1976-2011годы // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – 2012. – Вып. 176. – С. 3-15.
2. Алекин О.А. Озёра Катунских Альп // Материалы по лимносъёмке Катунских Альп. – Ленинград, 1933. – С. 153-232.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ НА РАЗЛИЧНЫХ ИЗОБАРИЧЕСКИХ УРОВНЯХ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ЗА ПЕРИОД 1891-2008 ГОДЫ

К.И. Соколов, И.И. Ипполитов, С.В. Логинов
Институт мониторинга климатических и экологических систем СО
РАН,
ceo@imces.ru

INVESTIGATION OF MOISTURE CONTENT AT DIFFERENT ISOBARIC LEVELS OVER THE TERRITORY OF WESTERN SIBERIA DURING THE PERIOD OF 1891-2008

K.I. Sokolov, I.I. Ippolitov, S.V. Loginov
Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS

Анализируется пространственно-временная изменчивость элементов водного баланса: масса влаги и абсолютная влажность на различных изобарических уровнях для территории Западной Сибири по данным реанализов 20-th Century и JRA-25.

Spatiotemporal variability of water balance elements, such as mass of moisture and absolute humidity are analyzed at different isobaric levels for the territory of Western Siberia using 20-th Century and JRA-25 reanalysis data.

Влагосодержание атмосферы – важный элемент водного баланса, который оказывает значительное влияние на формирование климата. Цель

работы – оценить пространственно-временную изменчивость этого элемента, для прогнозирования возможных климатических изменений.

Для подстилающей поверхности и нескольких изобарических уровней тропосферы были рассчитаны и проанализированы средние величины массы воды ($\text{кг}/\text{м}^2$), абсолютной влажности ($\text{г}/\text{м}^3$) и долговременные тенденции их изменений. Используя уравнение состояния идеального газа и относительную влажность, было рассчитано водное содержание в атмосфере. В работе использовались данные реанализов 20-th Century за период с 1891-2008 гг. и JRA-25 – за период 1979-2008 гг. (<http://ds.data.jma.go.jp/gmd/jra/download>). Для анализа изменчивости поля влажности в течении XX-го столетия исходные данные разбивались на 4 периода продолжительностью в 30 лет: 1891-1920, 1921-1950, 1951-1980, 1981-2008 гг. Рассмотрены особенности динамики элементов водного баланса над территорией Западной Сибири. Были рассчитаны средние значения и тренды для массы воды ($\text{кг}/\text{м}^2$) и абсолютной влажности ($\text{кг}/\text{м}^3$) в атмосфере на трех изобарических уровнях (1000, 850, 500 гПа), для слоя атмосферы 50 гПа, а также эти величины для всей атмосферы.

Выявлены области с максимальными значениями массы влаги по реанализу 20-th Century для Западной Сибири на высоте 1000 гПа (рис.1). Они приходятся на летние месяцы (июнь, июль, август), и наблюдаются на юге Западной Сибири ($4-4,5 \text{ кг}/\text{м}^2$). На высоте 850 гПа области с максимальными значениями совпадают с областями на 1000 гПа, но с меньшими значениями – от $3,5$ до $4 \text{ кг}/\text{м}^2$. На высоте 500 гПа по всей территории Западной Сибири значения составляют от $0,1$ до $0,5 \text{ кг}/\text{м}^2$. Эта область с максимальными значениями располагается в южной части зоны летнего, повышенного, количества осадков ($>300 \text{ мм}$), расположение которой можно, по-видимому, объяснить тем, что повторяемость теплых и влажных воздушных масс южного и западного происхождения здесь больше, чем в более северных районах.

Оценивая массу влаги которая содержится в атмосфере по данным реанализа JRA-25 за период 1979-2008 гг. на территории Западной Сибири, можно сказать следующее:

- в зимние месяцы значения составляют $0,5-1 \text{ кг}/\text{м}^2$ по всей исследуемой территории;
- весенние месяцы значения – от $1,5 \text{ кг}/\text{м}^2$ (на севере в марте и апреле) до $2,5 \text{ кг}/\text{м}^2$ (на юге территории в мае);
- максимальные значения приходятся на летние месяцы – от $3 \text{ кг}/\text{м}^2$ (на севере) до $4-4,5 \text{ кг}/\text{м}^2$ (на юге Западной Сибири);
- в осенние месяцы идет понижение значений от $2 \text{ кг}/\text{м}^2$ (в сентябре) до $1 \text{ кг}/\text{м}^2$ (в октябре и ноябре).

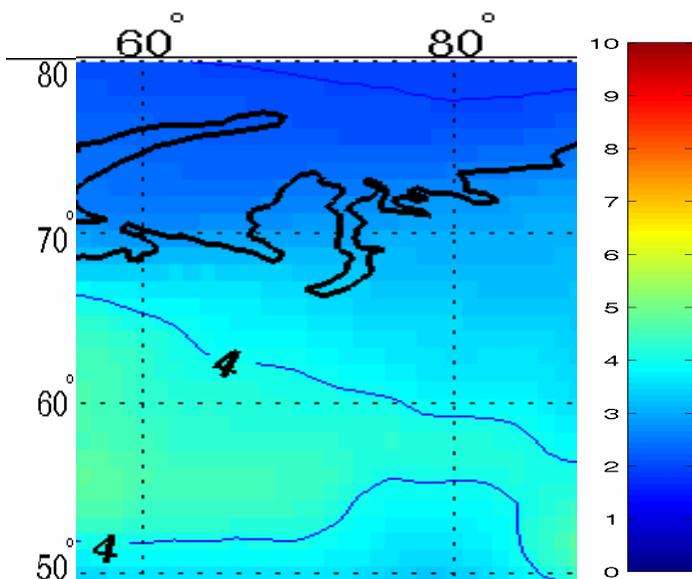


Рис. 1. Средние значения влагосодержания по территории Западной Сибири на высоте 1000 гПа (июль) за период 1981-2008гг., $\text{кг}/\text{м}^2$

В работе также представлены результаты расчета трендов влагосодержания за период 1891-2008 гг. по реанализу 20-th Century на территории Западной Сибири. За исследуемый период начиная с 1921 по 1980 гг. на изобарическом уровне 1000 гПа наблюдаются положительные тенденции $0,2 \text{ кг}/\text{м}^2$ за 10 лет в основном на юге Западной Сибири, за последний период 1981-2008 гг. (июнь, июль) тенденции повышения влагосодержания наблюдаются на севере и на юге территории и составляют $0,2-0,4 \text{ кг}/\text{м}^2$ за 10 лет.

Исследование тенденций для уровня 850 гПа выявило совпадение областей и периодов с максимальными значениями трендов с результатами на изобарическом уровне 1000 гПа. Тогда как, для изобарического уровня 500 гПа ни положительных, ни отрицательных тенденций не выявлено.

Исследование тенденций влагосодержания по реанализу JRA-25 (рис. 2) для территории Западной Сибири за период 1979-2008 гг. выявило, что максимальные тренды наблюдаются в мае и составляют $0,4 \text{ кг}/\text{м}^2$ за 10 лет на высотах 1000 и 850 гПа на большей части территории, в июне-июле максимум приходится на небольшие области на юге Западной Сибири. На высоте 500 гПа значения незначительно положительные, отрицательных тенденций не наблюдалось ни на одном уровне.

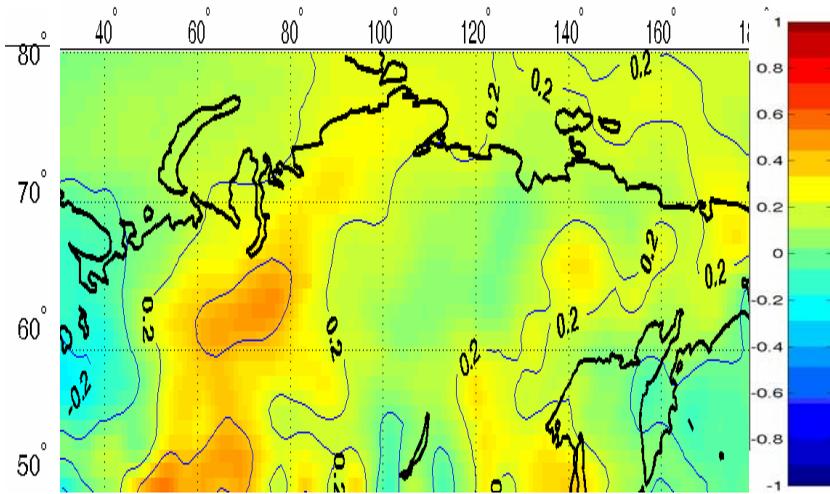


Рис. 2. Тренд влагосодержания по территории России для изобарического уровня 1000 гПа (май) за период 1979-2008 гг. по JRA-25, кг/м^3 за 10 лет

Кроме того, были построены графики распределения абсолютной влажности по широте для заданной долготы 83° в.д. – январь (рис.3) и июль (рис.4).

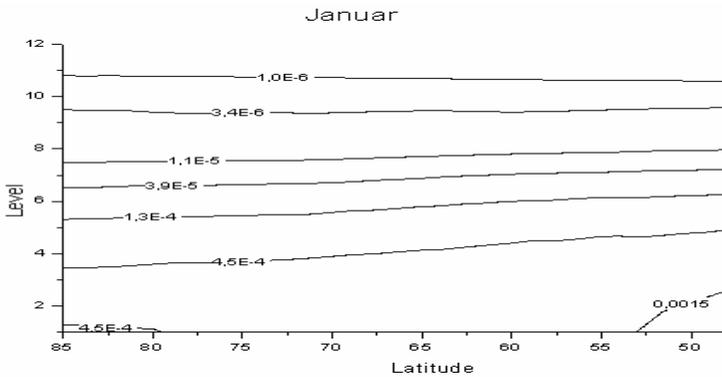


Рис. 3. Распределение абсолютной влажности по широте, для меридиана 83° в.д. за период 1979-2008 гг. (январь), кг/м^3

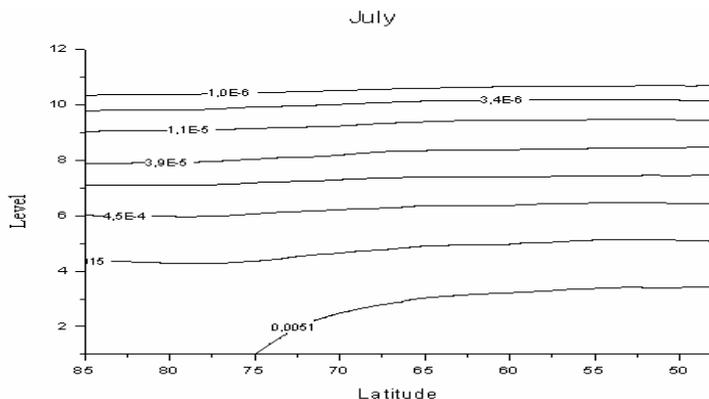


Рис. 4. Распределение абсолютной влажности по широте, для меридиана 83° в.д. за период 1979-2008 гг. (июль), $\text{кг}/\text{м}^3$

Результаты работы показали, что данные реанализов 20-th Century и JRA-25 количественно сравнимы по средним значениям и величинам трендам. Максимальные значения влагосодержания за период 1891-2008 гг. приходятся на юг Западной Сибири в летние месяцы 4-4,5 $\text{кг}/\text{м}^2$. В целом по территории Западной Сибири за исследуемый период 1891-2008 гг. наблюдаются положительные тенденции влагосодержания и абсолютной влажности, максимальный тренд приходится на период 1979-2008 гг. (май, июнь, июль) и наблюдается на большей части территории Западной Сибири, значения которого составляют 0,4 $\text{кг}/\text{м}^2$ за 10 лет. При распределении абсолютной влажности по широте, при продвижении на север на уровнях от 1000 гПа до 700 гПа происходит резкое уменьшение значений, при этом на более высоких уровнях понижение менее выражено.

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, СПЕКТРАЛЬНОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ И СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРОФИЛЛА ВНУТРЕННИХ ВОДОЁМОВ АЛТАЯ

*И.А. Суторихин¹, В.И. Букатый¹, О.Б. Акулова², А.В. Котовщиков¹,
А.В. Дьяченко¹, С.А. Литвиненко¹*

¹ – *Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул*

² – *Алтайский государственный университет, Барнаул*

SEASONAL DYNAMICS OF HYDROTHERMAL PARAMETERS, SPECTRAL TRANSPARENCY AND CHLOROPHYLL CONTENT OF INLAND WATERS OF THE ALTAI

*I.A. Sutorikhin¹, V.I. Bukaty¹, O.B. Akulova², A.V. Kotovschikov¹,
A.V. Dyachenko¹, S.A. Litvinenko¹*

¹ – *Institute of Water and Environmental Problems, Barnaul*

² – *Altai State University, Barnaul*

*sia@iwep.asu.ru, v.bukaty@mail.ru, kotovschik@iwep.asu.ru,
gsa@iwep.asu.ru, dyachenko@iwep.asu.ru, akulova8282@mail.ru*

Исследована сезонная динамика (2011-2012) гидротермических параметров, спектральной прозрачности воды в диапазоне длин волн 400-800 нм и содержания хлорофилла «а» на разных глубинах внутренних водоёмов Алтая (оз. Лапа, оз. Большое Островное, оз. Красиловское). Построена аппроксимационная зависимость оптической прозрачности от содержания хлорофилла. Проведена теоретическая оценка влияния частиц водорослей фитопланктона в озерах на спектральную прозрачность воды. Сравнение теоретической и измеренной прозрачности на длине волны 400 нм показало их удовлетворительное согласие.

The seasonal dynamics (in the period 2011-2012.) hydrothermal parameters, spectral water transparency in the wavelength range 400-800 nm and the content of chlorophyll «a» at different depths in inland waters of the Altai (Paw Lake, Lake Big Island, Lake Красиловsky). We construct an approximation of the dependence of the optical transparency of the chlorophyll content. A theoretical assessment of the impact of particles of phytoplankton algae in lakes on the spectral transparency of the water. Comparison of theoretical and measured transparency at a wavelength of 400 nm showed their satisfactory agreement.

Проблема мониторинга состояния водных экосистем в последнее время в нашей стране приобретает всё больший интерес. Большинство водоёмов Алтайского края находится под влиянием усиливающегося антропогенного воздействия. Для целей экологического мониторинга водоёмов активно используются параметры прозрачности воды, которые

могут давать информацию, необходимую для оценки количества загрязняющих веществ, микроорганизмов, а также сведения для оценки количества солнечной радиации, поглощаемой в поверхностном слое водного объекта. Для этого также необходимо изучение фитопланктона, который оказывает непосредственное влияние на качество воды, благодаря структуре и функциональным особенностям определяет состояние водных экосистем в целом [1-2].

Целью работы является продолжение сезонных измерений спектральной прозрачности воды (на примере пойменных озер) на различных глубинах, начатых нами в 2011 г. [3-4] и нахождение эмпирической зависимости прозрачности от содержания хлорофилла «а», т.к. между его концентрацией и биомассой, существует прямая зависимость [5-7].

Измерения спектральной прозрачности воды проводились в лабораторных условиях на спектрофотометре СФ-46 с погрешностью, равной 0,5%. Концентрацию хлорофилла в ацетоновых экстрактах определяли стандартным спектрофотометрическим методом на длине волны 664 нм согласно ГОСТ 17.1.4.02-90 и методическим рекомендациям, с погрешностью не более 10%.

Сезонная динамика зависимости спектрального показателя ослабления света ϵ в пробах воды оз. Лапа на глубине 7 м представлена на рисунке 1. Видно, что максимальные значения ϵ для большей части спектрального интервала реализуются в осенний период, что обусловлено высоким содержанием фитопланктона.

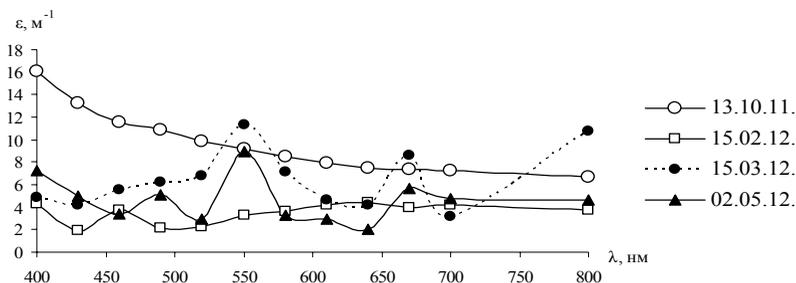


Рис. 1. Зависимость показателя ослабления света ϵ от длины волны λ на оз. Лапа в различные сезоны

Для оценки влияния клеток водорослей фитопланктона на ослабление света в исследуемых озёрах нами проводились измерения спектральной прозрачности в пробах воды до и после её фильтрации, что позволяет определить показатель ослабления света $\Delta\epsilon$ непосредственно биологическими частицами. Соответствующие результаты представлены на рисунке 2.

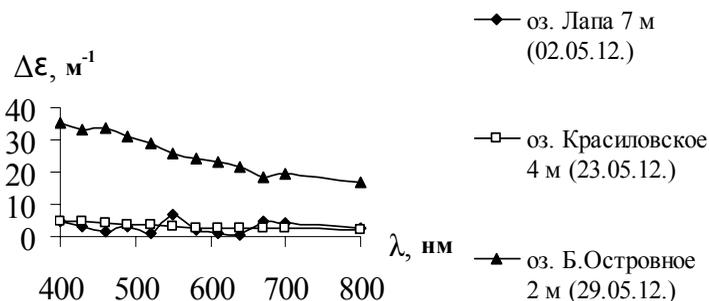


Рис. 2. Спектральная зависимость разности показателей ослабления $\Delta\varepsilon$ до и после фильтрации проб воды придонного слоя в указанных озёрах

Приведённая на рисунке 2 спектральная зависимость $\Delta\varepsilon$ представляет собой фактически показатель ослабления для крупных частиц (с диаметром более 0,8 мкм). Для сравнения с экспериментальными результатами, показанными на данном рисунке, можно сделать оценку показателя ослабления $\Delta\varepsilon$ в соответствии с формулами, приведёнными в работе [8], предполагая, что исследуемый фитопланктон состоит из монодисперсных частиц с размером, равным среднеарифметическому диаметру реального распределения. Тогда можно записать: $\Delta\varepsilon = N \cdot \pi \cdot \overline{D}^2 \cdot K(\rho) / 4$, где N – концентрация крупных частиц, \overline{D} – их среднеарифметический диаметр, $K(\rho)$ – безразмерный поперечник ослабления света, равный сумме безразмерных поперечников поглощения и рассеяния, ρ – дифракционный параметр Ми, $\rho = \pi \cdot \overline{D} / \lambda$, $\lambda = \lambda_0 / n$, λ_0 – длина волны в вакууме, n – показатель преломления воды. Для примера, взяв для оз. Лапа значения $N = 4,4 \cdot 10^7 \text{ см}^{-3}$, $\overline{D} = 0,9 \text{ мкм}$, $K(\rho) \approx 0,2$ для длины волны $\lambda = 400 \text{ нм}$ и $\rho = 9,4$, $n = 1,33$ из формулы, находим $\Delta\varepsilon \approx 5,6 \text{ м}^{-1}$. Следовательно, различие между экспериментальным значением $\Delta\varepsilon$ и расчётным составило около 15%, что можно считать удовлетворительным.

Изменение температуры воды в озерах Лапа и Красиловское для апреля и мая, соответственно, приведены на рисунках 3 и 4.

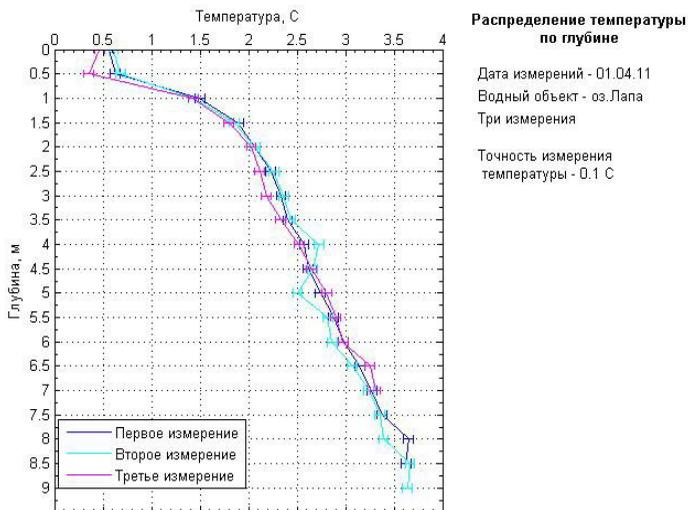


Рис. 3. Зависимость температуры воды от глубины для оз. Лапа

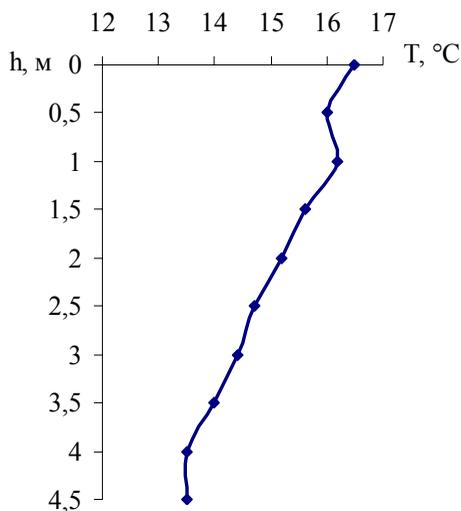


Рис. 4. Зависимость температуры воды T от глубины h для оз. Красиловское, 23 мая 2012 г.

Для проведения температурных измерений использовался прибор, описанный в [9]. Результаты измерений спектральной прозрачности воды T и концентрации хлорофилла C в фитопланктоне озера Лапа показали обратную

зависимость величины прозрачности на исследуемых длинах волн от концентрации основного фотосинтетического пигмента. Для примера на рисунке 5 показана аппроксимационная зависимость прозрачности от содержания хлорофилла «а» в области полосы поглощения на длине волны 430 нм, представляющая собой гауссовую функцию вида

$$T = T_0 + \frac{A}{\omega\sqrt{\pi/2}} e^{-\frac{2(C-C_c)^2}{\omega^2}}, \text{ где } T_0 = -1,18; C_c = 3,16; \omega = 75,39;$$

$A = 196,16$. Коэффициент корреляции при этом равен $-0,98$ и достоверен при $p = 0,07$.

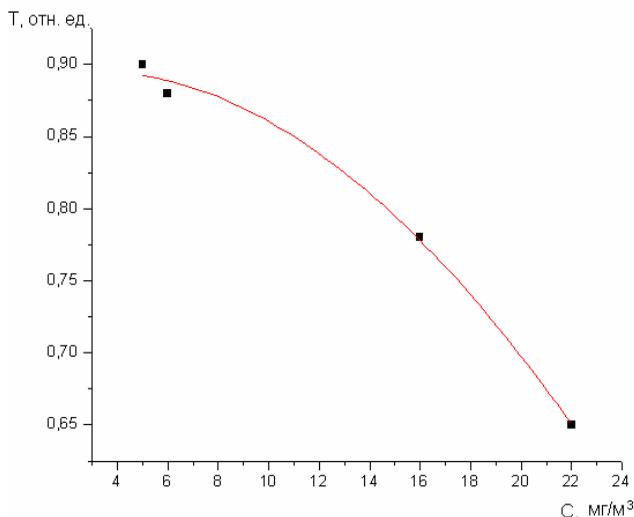


Рис. 5. Зависимость прозрачности на длине волны 430 нм от концентрации хлорофилла «а»

Работа выполнена при поддержке Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН 131. «Математическое и геоинформационное моделирование в задачах мониторинга окружающей среды и поддержки принятия решений на основе данных стационарного, мобильного и дистанционного наблюдения».

Литература

1. Меншуткин В.В., Показеев К.В., Филатов Н.Н. Гидрофизика и экология озёр. Т.2. – М., 2004. – 269 с.
2. Мусатов А.П. Оценка параметров экосистем внутренних водоемов. – М., 2001. – 192 с.
3. Суторихин И.А., Букатый В.И., Котовщиков А.В., Акулова О.Б. Исследования спектральной прозрачности и концентрации хлорофилла в пойменном озере (бассейн Верхней Оби, Алтайский край) // Известия АлтГУ. – 2012. – №1/1. – С. 226-228.

4. Суторихин И.А., Букастый В.И., Котовщиков А.В., Акулова О.Б. Исследования спектральной прозрачности воды и концентрации хлорофилла с учётом дисперсности гидрозолевых частиц водоёма (на примере озера-старницы Лапа Алтайского края) // Ползуновский вестник. – 2012. – №2/1. – С. 16-21.
5. Апонасенко А.Д., Щур Л.А., Лопатин В.Н. Связь содержания хлорофилла с биомассой и дисперсной структурой фитопланктона // ДАН. – 2007. – Т. 412. – №5. – С. 710-712.
6. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоёмов. – Минск., 1960. – 329 с.
7. Сиренко Л.А., Курейшевич А.В. Определение содержания хлорофилла в планктоне пресных вод. – Киев., 1982. – 52 с.
8. Шифрин К.С. Введение в оптику океана. – Л., 1983. – 279 с.
9. Суторихин И.А., Бортников В.Ю., Черепанова Е.И., Дьяченко А.В. Дискретный автоматизированный измеритель профиля температуры воды // Материалы XII Международной научно-технической конференции Измерение, контроль, информатизация. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. – С. 199-202.

О ТРАНСФОРМАЦИИ СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РАЙОНАХ ЗАТОПЛЕННЫХ ШАХТ КУЗБАССА

E.L. Schastlivtsev, S.G. Pushkin, A.A. Vorotilov

Институт вычислительных технологий СО РАН, Кемеровский филиал

ABOUT TRANSFORMATION OF COMPOSITION OF GROUNDWATER IN AREAS OF FLOODED MINES OF KUZBASS

E.L. Schastlivtsev, S.G. Pushkin, A.A. Vorotilov

*Institute of Computational Technologies SB RAS, Kemerovo Branch
zavlab@ict.kemsc.ru vorotilovaa05@gmail.com*

Рассматривается изменчивость состава стоков затопленных шахт, имеющих один или несколько выпусков как дренажного самоизлива, так и принудительной откачки. Для некоторых ингредиентов прослеживается тенденция роста их концентрации со временем. Воды дренажного самоизлива существенно отличаются от откачиваемых по концентрациям ряда ингредиентов. Оценки получены с использованием разработанного программного комплекса.

The article deals with variability of composition of flows of flooded mines, which have one or more effluent both the drainage spout and forced pumping. For some ingredients, there is a tendency of growth of their concentration over time. Drainage water differ significantly from the pumped water for concentrations several ingredients. Estimates obtained using the developed software.

В начале девяностых годов прошлого столетия в Кузбассе начался процесс закрытия шахт, который продолжается и в настоящее время. По данным «Кузбасского Центра мониторинга производственной и экологической безопасности» (КЦМПЭБ), осуществлявшим контроль (до 2009 г.) за качеством вод, сбрасываемых закрытыми шахтами, они закрываются методом полного или частичного затопления. Это приводит к обострению гидроэкологических проблем недропользования в Кузбассе, связанных с уменьшением запасов природных подземных вод, перспективных для питьевого водоснабжения, интенсификацией процессов их загрязнения, возникновением в районах затопления предпосылок для проявления локальных процессов проседания поверхности земли и ее заболачивания [1-3].

Выполнен сравнительная оценка составов подземных вод и стоков закрытых шахт, расположенных в бассейне р. Иня, с использованием созданного программного комплекса [4] на основе данных о подземных водах Кемеровского Центра Мониторинга Геологической Среды (КЦМГС) и КЦМПЭБ, имевшихся в фондах Кемеровского филиала ИВТ СО РАН. Подземные воды реки Иня охарактеризованы по данным 24 скважин. По ионному составу они относятся к гидрокарбонатно-натриевому типу. Однако можно выделить по десяти пробам сульфатно-натриевые воды и по пяти пробам – хлоридно-натриевые воды (рис. 1).

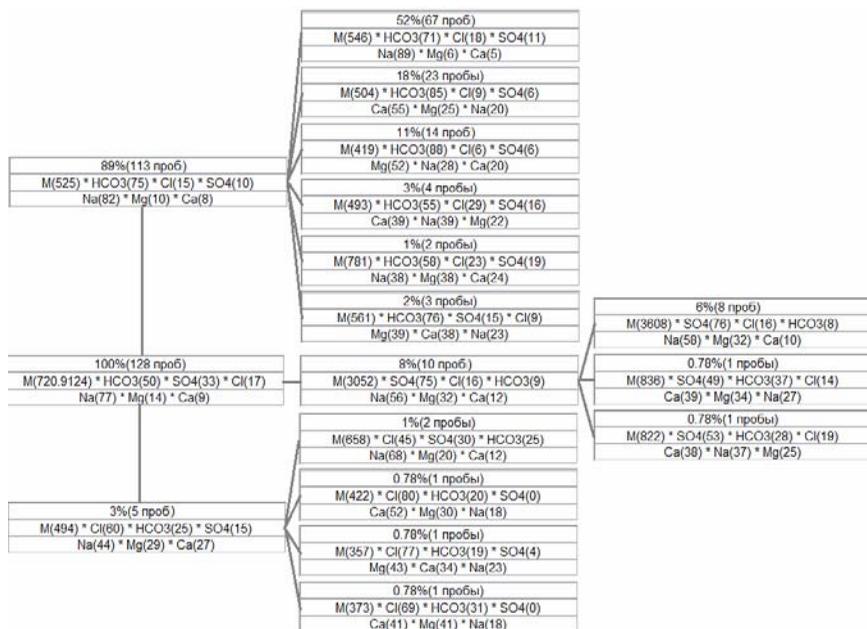


Рис. 1. Схема повторяемости различных типов вод бассейна р. Иня

В таблице 1 для ряда ингредиентов представлены рассчитываемые статистические показатели подземных вод бассейна р. Инья.

Таблица 1 – Статистические показатели некоторых ингредиентов подземных вод бассейна р. Инья

	Na	NH ₄	Ca	Mg	Cl	SO ₄
Количество проб	126	35	128	128	127	111
Минимум	1,1	0,01	2,95	2,45	0,02	0,01
Максимум	1041	7	286	411	601	2994
Ср. арифметическое	116	1,02	44	38	57	177
Ст. отклонение	179	1,5	39	58	83,7	546
Ср. геометрическое	66	0,3	30,7	23,7	26,2	20,8
ЛИГ	19,4	0,1	12,6	9,7	6,5	2,5
ПИГ	227,3	1,8	74,9	57,9	105,6	173,1
	NO ₃	NO ₂	CO ₃	HCO ₃	сухой ост.	SiO ₂
Количество проб	53	89	60	128	126	121
Минимум	0,01	0,003	1	33,55	1	0,6
Максимум	4,1	175	123	783	5973	40,7
Ср. арифметическое	0,77	6,6	18,2	293	597	7,4
Ст. отклонение	1,2	19	19	150	882	5,9
Ср. геометрическое	0,1	2,3	11,5	255	387	5,5
ЛИГ	0	0,4	4,2	146,4	152,6	2,4
ПИГ	1,1	14,6	31,3	446	984,5	12,6

Примечание: ЛИГ и ПИГ – левая и правая интервальные границы, соответственно.

Обычно для ряда ингредиентов стандартное отклонение превышают среднее арифметическое, получающиеся распределения в основном ассиметричны. Оценки их параметров с использованием накопленных величин приведены на рисунке 2. Так интервальная величина (ИВ), в которой содержится 68% всех данных за исключением 16% крыльев распределения, состоит из левосторонней ИВ (*ИВ_{ЛС}*), начинающейся с 16%, и правосторонней ИВ (*ИВ_{ПС}*), кончающейся на 84%:

$$ИВ = ИВ_{ЛС} + ИВ_{ПС}$$

Представленные на рисунке 2 *ИВ_{ЛС}* и *ИВ_{ПС}* отсчитываются от 50% величины, равной 7 мг/л. Видно, что *ИВ_{ПС}* больше *ИВ_{ЛС}* в 5 раз. Простейшим распределением, для которого *ИВ_{ПС}* > *ИВ_{ЛС}*, является логнормальное. Поэтому ниже для всех ингредиентов будем приводить параметры этого распределения (табл. 1), а алгоритм вычисления ИВ с

помощью накопленных функций используется для сравнительных анализов. Оценка применимости этого описания для экспериментальных рядов данных проводилась на основе критерия Колмогорова, полученные данные свидетельствуют о применимости этого описания в большинстве случаев.

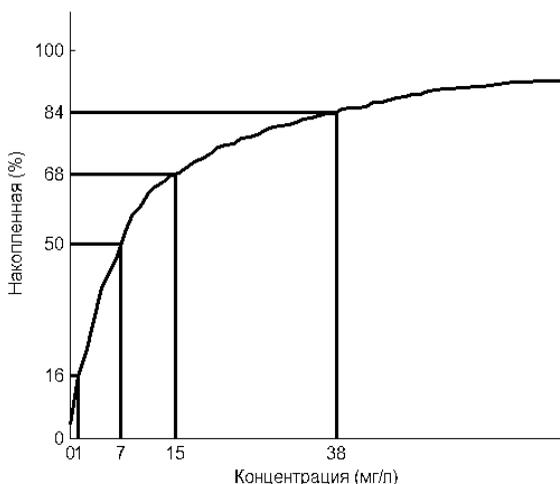


Рис. 2. Накопленная частота проявления концентрации сульфатов в подземных водах бассейна р. Иня

В качестве примера затопленных шахт выбраны шахты Кольчугинская и Пионерка, расположенные в бассейне р. Иня. Шахты имеют примерно одинаковую площадь шахтного поля – 20 км² и максимальную глубину разработки угольных запасов равную 370 м от поверхности земли.

Шахта Кольчугинская расположена в непосредственной близости от г. Ленинск-Кузнецкий и имеет один выпуск подземных вод с принудительной среднегодовой откачкой в диапазоне 410-380 тыс. км³. Отношение средних и 68% интервала концентраций ингредиентов шахты Кольчугинская к средним концентрациям в подземных водах приведена на рисунке 3.

Данные рисунка 3 показывают, что реализуется следующее превышение (в разы) средних геометрических показателей концентрации ингредиентов в стоках ш. Кольчугинская над аналогичными показателями подземных вод: аммоний – 2,2; кальций – 1,8; магний – 1,5; хлориды – 2; сульфаты – 5,7; нитраты – 12; сухой остаток – 5,1; ХПК – 5,6. Кадмий, медь и молибден имеют сравнимые значения средних. Шахта Пионерка расположена около г. Белово а районе слияния рек Малый Бачат и Большой Бачат и имеет 9 выпусков, шесть из которых с принудительной откачкой и три самоизливающиеся.

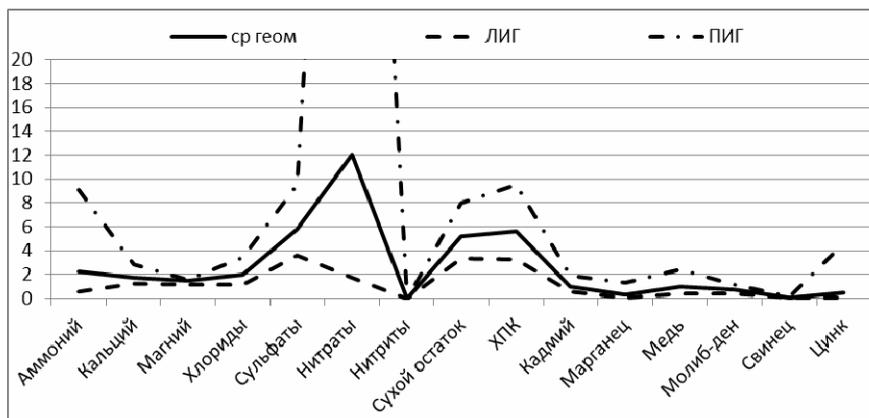


Рис. 3. Показатели ингредиентов ш. Кольчугинская относительно средних значений концентрации подземных вод

Таблица 2 – Сравнительная характеристика вод ш. Пионерка по отношению к подземным водам

Выпуск	Аммоний	Хлориды	Сульфаты	Нитраты	Сухой остаток	Кадмий	Фенолы
Общая	4,74	3,15	11,03	15,6	2,78	2,5	1,98
1(1)	14,22	2,93	17,7	7,06	3,55	2,85	1,94
1(2)	3,47	4,08	21,37	2,13	3,67	0,9	1
2	6,93	3,26	17,16	4,88	2,04	2,54	1,83
3	6,8	3,29	16,82	5,3	2,94	1,4	2,34
3(а)	8,33	3,42	15,21	8,9	2,1	2,38	2,28
4	7,95	3,17	15,57	4,03	3,06	2,39	1,83
949	3,29	2,94	1,62	22,02	5,26	2,61	2,5
Менделеева	2	3,24	9,68	207,96	2,23	2,01	1,39
Рижских	2,18	2,11	8,27	392,87	1,97	10,16	2,38

По данным таблицы 2 воды различных выпусков шахты Пионерка по сравнению с подземными водами обогащены: аммонием – 2-14 раз; хлоридами – 2-4; сульфатами – 2-21; нитратами – 2-392; сухим остатком – 2-5; кадмием – 2-10; фенолами – 2 раза. На рисунке 4 приведены нормализованные показатели состава вод (НПСВ) для сухого остатка. НПСВ являются отношениями средних концентраций ингредиентов к нормативным показателям (НВ), в качестве которых в основном использованы предельно допустимые концентрации вод рыбохозяйственного назначения ($ПДК_{РХ}$). Они свидетельствуют о достаточно большом диапазоне превышении

концентрации марганца в стоках, причем самоизливающиеся дренажные воды обеднены марганцем относительно вод принудительной откачки в 7 раз.

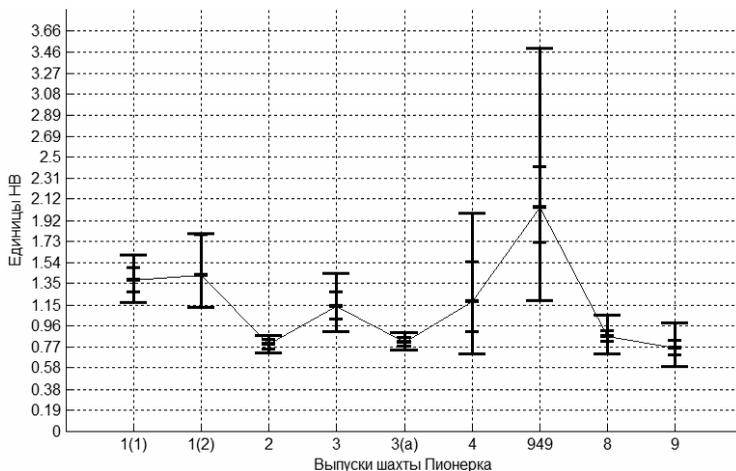


Рис. 4. Нормализованные показатели концентрации марганца в водах стоков ш. Пионерка: НПСВ приведены для параметров логнормальных распределений.

Сравнимые концентрации в пределах трех раз во всех выпусках имеют БПК, взвешенные вещества, нефтепродукты, сухой остаток, фенолы, хлориды, ХПК, цинк (рис. 5).

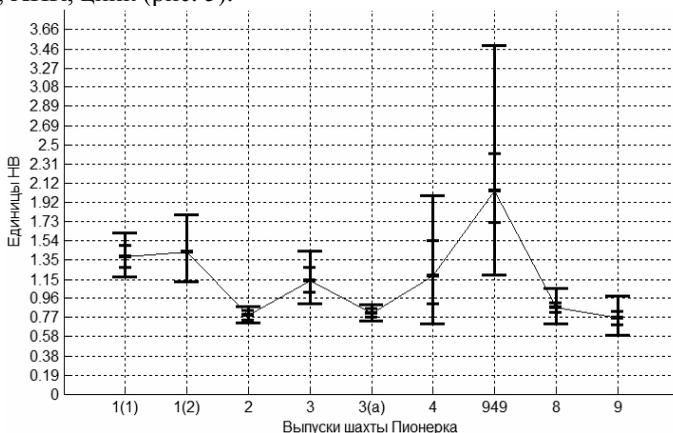


Рис. 5. Нормализованные показатели концентрации сухого остатка в водах стоков ш. Пионерка

По 24 пробам сточных вод шахты Пионерка (рис. 6) удастся охарактеризовать ионный состав этих вод, которые в основном являются

гидрокарбонатными кальциево-натриевыми (общая доля 87%) с незначительной долей сульфатных вод (13%).

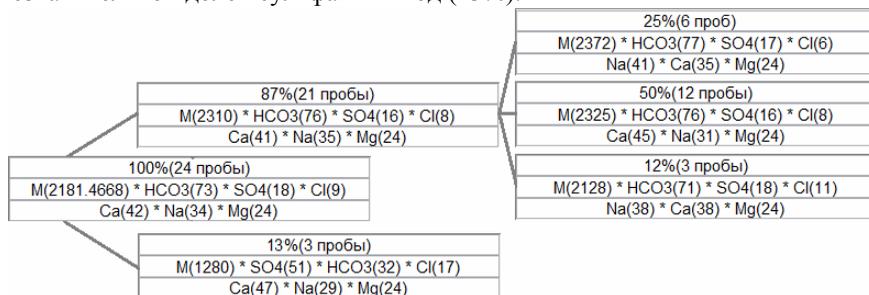


Рис. 6. Схема повторяемости состава стоков шахты Пионерка

Модули разработанного программного комплекса позволяют, используя логнормальное представление, вычислять средние показатели, их доверительные интервалы и 68% интервалы для экспериментальных данных; расщеплять данные по ионным типам вод и сравнивать концентрации ингредиентов, дополнительно характеризующие эти типы; на основе имитационного моделирования пополнять ряды экспериментальных данных и создавать матрицы многоингредиентных модельных гидрохимических объектов. Проверочный модуль позволяет вычислять 68% интервальные величины с использованием накопленной функции независимо от распределений экспериментальных данных. Полученные данные свидетельствуют о применимости этого описания в большинстве случаев.

Сравнения составов подземных вод и стоков закрытых шахт для бассейна р. Иня, свидетельствуют от том, что закрытые шахты являются новым источником загрязнений подземных и поверхностных вод вследствие наличия в их стоках достаточно большого количества ингредиентов, концентрации которых превышают нормативные показатели. Отработанное подземное пространство закрытых шахт является источником повышенного химического модуля стока для многих ингредиентов.

Литература

1. Счастливец Е.Л., Пушкин С.Г., Юкина Н.И. Перспективы мониторинга техноприродных вод Кузбасса // Материалы третьей всероссийской научной конференции с международным участием – Барнаул: Изд-во АРТ, 2010 г. – С. 566-569.
2. Счастливец Е.Л., Пушкин С.Г., Юкина Н.И. Гидроэологические проблемы недропользования в Кузбассе // Горный информационно-аналитический бюллетень. № ОВ4. – М.: Издательство «Горная книга», 2010. – С. 419-429.
3. Экологический мониторинг при ликвидации шахт и разрезов / Под общей редакцией А.П. Красавина, А.М. Навитного, Ю. В. Каплунова. – Пермь, ОАО «МНИИЭКО ТЭК», 2010. – 315 с.

4. Е.Л. Счастливец, С.Г. Пушкин, А.А. Воротилов Перспективы применения гидрохимически ориентированного программного комплекса для оценок ионного состава природных вод Кузбасса // Сборник трудов XI Всероссийской конференции «Проблемы мониторинга окружающей среды». – Кемерово, 2011. – С. 382-387.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРИВОДЯЩИХ К ОБНОВЛЕНИЮ ГЛУБИННЫХ ВОД БАЙКАЛА

Е.А. Цветова

*Институт вычислительной математики и математической геофизики
Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск,*

E.Tsvetova@ommgp.scc.ru

MATHEMATICAL MODELING OF PROCESSES LEADING TO DEEP WATER RENEWAL IN LAKE BAIKAL

E.A. Tsvetova

*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SD
RAS, Novosibirsk*

Трехмерная негидростатическая модель гидродинамики и переноса примесей используется для проверки гипотезы о влиянии процессов всплытия вод, содержащих метан, на запуск глубокой конвекции, приводящей к обновлению глубинных вод. Рассмотрены различные сценарии расчетов с заданием начальных полей температуры и плотности, а также источников примеси. Результаты моделирования демонстрируют возможность организации вертикального обмена различной интенсивности и продолжительности.

A 3D nonhydrostatic model is applied to verify a hypothesis about influence of coming up waters with methane on launch of deep water renewal. A set of scenarios with different initial fields of temperature and density and sources of admixtures is considered. The results demonstrate vertical water exchange of different duration and intensity.

Озеро Байкал как уникальный объект природы не перестает удивлять мировое сообщество. В последнее время наибольшее внимание привлечено к двум интересным находкам. Первая – это обнаружение газогидратов и выходов метана со дна озера, и вторая – появление на льду Байкала кольцевых структур, которые хорошо видны из космоса. По одной из гипотез появление кольцевых структур может быть связано с всплыванием

газогидратов. Поэтому для воспроизведения процессов гидродинамики, переноса и трансформации примесей в настоящее время разрабатывается версия локальной 3D негидростатической модели гидротермодинамики и переноса и трансформации примесей.

В зависимости от того, в каком качестве примесь участвует в модели, возможны два способа моделирования её воздействия. Если примесь рассматривается как трассер, не влияющий на гидродинамику, то для описания процессов распространения в озере формально подходит уравнение такого же вида, как для температуры и соли. Если же есть необходимость учесть влияние примеси на гидродинамику, то здесь приходится переходить к изучению смесей. В этом случае рассматривается смесь с плотностью ρ , состоящая из воды и метана в двух фазах: растворенного в воде и виде газа. Система уравнений гидродинамики имеет вид:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial \rho u u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v u}{\partial y} + \frac{\partial \rho w u}{\partial z} + 2\Omega_y \rho w - 2\Omega_z \rho v \\ &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \left(\frac{\partial}{\partial x} \mu_x \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_y \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial}{\partial z} \right) \rho u, \\ & \frac{\partial \rho v}{\partial t} + \frac{\partial \rho u v}{\partial x} + \frac{\partial \rho v v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w v}{\partial z} - 2\Omega_x \rho w + 2\Omega_z \rho u \\ &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \left(\frac{\partial}{\partial x} \mu_x \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_y \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial}{\partial z} \right) \rho v, \\ & \frac{\partial \rho w}{\partial t} + \frac{\partial \rho u w}{\partial x} + \frac{\partial \rho v w}{\partial y} + \frac{\partial \rho w w}{\partial z} + 2\Omega_x \rho v - 2\Omega_y \rho u \\ &= -\frac{\partial p}{\partial z} - g + \left(\frac{\partial}{\partial x} \mu_x \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_y \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial}{\partial z} \right) \rho w \\ & \rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial u T}{\partial x} + \frac{\partial v T}{\partial y} + \frac{\partial w T}{\partial z} + Q_s \right) \\ &= \left(\frac{\partial}{\partial x} \hat{\mu}_x \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{\mu}_y \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} v_T \frac{\partial}{\partial z} \right) \rho c_p T, \\ & \rho_w = f(p, T, S), \\ & \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = q. \end{aligned}$$

Кроме уравнений состояния газа и воды для смеси в целом записывается еще одно уравнение состояния газожидкостной смеси, в котором участвуют среднemasовые концентрации её компонент:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{k_w}{\rho_w} + \frac{R_m T}{\tilde{p}} (1 - k_w),$$

$$k_i = \frac{c_i}{c_w + c_g + c_s} \quad (i = w, g, s), \quad \sum_{i=1}^3 k_i = 1.$$

Здесь k_i – мольные доли компонент раствора, c_i – концентрации примесей (моль / см³), индексами w, g, s отмечены элементы, относящиеся к воде, газу и растворенному метану, соответственно. Механизм переноса и трансформации метана описывается системой кинетических уравнений следующего вида:

$$\begin{aligned} \frac{dc_g}{dt} &= D_{c_g}(c_g) - \alpha(H\bar{p} - c_s) + q_g - \beta_g c_g, \\ \frac{dc_s}{dt} &= D_{c_s}(c_s) + \alpha(H\bar{p} - c_s) + q_s - \beta_s c_s, \end{aligned}$$

В этих уравнениях для каждой из компонент имеются операторы переноса и диффузии D_i , а также члены, описывающие источники q_i , и расход со скоростью β_i за счет других факторов кроме трансформации. Переход между фазами осуществляется по закону Генри, H – константа Генри, зависящая от температуры, α (1/сек) – эмпирический коэффициент, $\bar{p} = p + p_a$. В первом из этих уравнений вертикальная составляющая вектора скорости суммируется со скоростью подъема газа w_g , которая рассчитывается по эмпирическим формулам.

Система уравнений дополняется краевыми и начальными условиями, соответствующими целям сценариев моделирования. На этой модели с помощью численных экспериментов проверяется гипотеза об одном из возможных механизмов формирования локальных циркуляций типа кольцевых структур. Поскольку это явление носит локальный характер, область моделирования для этих экспериментов представляет собой бассейн с отвесными стенками с горизонтальными размерами порядка 12км*12км и глубиной около 1250 м.

Рассмотрено несколько сценариев с различными вариантами задания начальных условий, а также источников примеси, которые задавались как на дне, так и в толще вод. В последнем случае воспроизведен сценарий, когда первоначальное изменение плотности происходит на глубинах около 380 м, где газогидраты разлагаются (рис. 1 и 2).

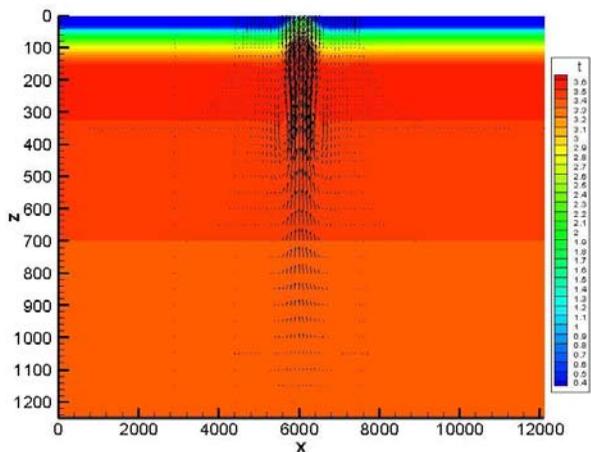


Рис. 1. Распределение температуры (изолинии) и поля скоростей (стрелки) на вертикальном сечении через середину области через 15 мин после начала эксперимента

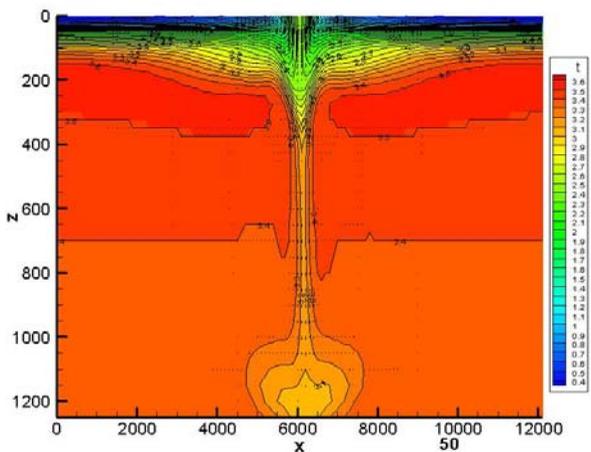


Рис.2. Распределение температуры (изолинии) и поля скоростей (стрелки) на вертикальном сечении через середину области через 50 часов после начала эксперимента. Холодная вода сверху опустилась до дна

В результате различных сценариев моделирования удалось воспроизвести термическую структуру, наблюдаемую в измерениях подо льдом. Эти измерения были выполнены сотрудниками Лимнологического

института СО РАН. Вблизи поверхности образовалась линза теплой воды с горизонтальными размерами примерно 4-6 км. Подобная картина получена в результатах численных экспериментов.

Эксперименты также показали, что в результате подъема смеси формируются компенсирующие потоки, приводящие к возникновению термобарической неустойчивости и опусканию вод на максимальные глубины. Заметим, что препятствием для водообмена между поверхностными и глубинными водами зимой в Байкале в естественных условиях является слой мезотермического максимума. Этот слой теплой воды, выше и ниже которого располагается более холодная вода, ормируется в озере в период осенней конвекции из-за понижения температуры максимальной плотности с ростом давления.

Таким образом, можно сделать следующий вывод. Подъем глубинных вод может быть, в свою очередь, одним из спусковых механизмов, запускающих глубокую конвекцию и, как следствие – обновление и самих глубинных вод Байкала.

Работа поддержана Программами №№ 4 и 23 Президиума РАН и №3 ОМН РАН, а также проектом РФФИ 11-01-00187.

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗИМНИХ ОСАДКОВ В РАЗЛИЧНЫХ ЛАНДШАФТАХ И ЕГО ЗАВИСИМОСТЬ ОТ МЕТЕОУСЛОВИЙ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА РЕКИ КАСМАЛА, АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)

*Д.В. Черных, Д.В. Золотов, Р.Ю. Бирюков, Т.В. Тарасова
Институт водных и экологических проблем СО РАН,*

REDISTRIBUTION OF WINTER PRECIPITATION IN DIFFERENT LANDSCAPES AND IT IS DEPENDENCE ON METEOROLOGICAL CONDITIONS (AS A CASE STUDY KASMALA RIVER BASIN, ALTAI KRAI)

*D.V. Chernykh, D.V. Zolotov, R.Y. Biryukov, T.V. Tarasova
Institute for Water and Environmental Problems SB RAS,
cher@iwep.asu.ru*

Сравнение результатов снегомерной съемки и метеорологических данных показало, что на формирование снежного покрова в равнинном речном бассейне

влияет не только общее количество осадков, но и метеоусловия холодного периода.

Comparison of the results of snow survey and meteorological data showed that as total amount of precipitation as the weather conditions of the cold period make an effect on the formation of snow cover in the lowland river basin.

Исследование снежного покрова проводилось в модельном бассейне р. Касмала (фрагмент с замыкающим створом в с. Рогозиха), расположенном в подзоне южной лесостепи Приобского плато [1]. Река Касмала – приток р. Обь, длина – 119 км, площадь бассейна – 2550 км². Он включает часть Касмалинской ложбины древнего стока и фрагменты межложбинных плато. Климат территории резко континентальный. Средняя температура января – 16°С, июля +20°С. Сумма годовых осадков в среднем составляет 400 мм, за зимний период – 123 мм, продолжительность периода со снежным покровом – 125-130 дней, глубина промерзания почв – до 200 см, продолжительность снеготаяния – 17-22 дня [2].

Закономерности формирования снежного покрова исследовали ландшафтно-маршрутным методом [3-4] в период максимального снегонакопления (2 декада марта 2011 и 2012 гг.), включая расчёт интегральной плотности снега (ρ , г/см³), снеготолщин (W , мм). Кроме этого использованы данные наблюдений на метеостанции Ребриха Алтайского краевого центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за период с 2010 по 2012 гг.

Снежный покров на рассматриваемой территории появляется в третьей декаде октября. Образование устойчивого снежного покрова наблюдается во второй декаде ноября, а его разрушение начинается в первой декаде апреля, а окончательный сход – во вторую декаду апреля.

За холодный период (ноябрь-март) 2010/11 г. средняя температура воздуха составила –13,1°С, а 2011/12 г. –15,1°С. За данный период в 2010/11 г. выпало 117,5 мм осадков, в 2011/2012 гг. – 73,3 мм, что составило, соответственно, 95% и 60% от среднегодовой величины (123,2 мм) [2]. По данным метеостанции Ребриха высота снежного покрова на постоянном маршруте в поле достигла максимума в 2010/11 г. – во второй декаде марта, в 2011/12 г. – в третьей декаде января (рис. 1). В 2010/11 г. по сравнению с 2011/12 г. выше были средняя скорость ветра, максимальные порывы и продолжительность метелевых явлений (табл. 1).

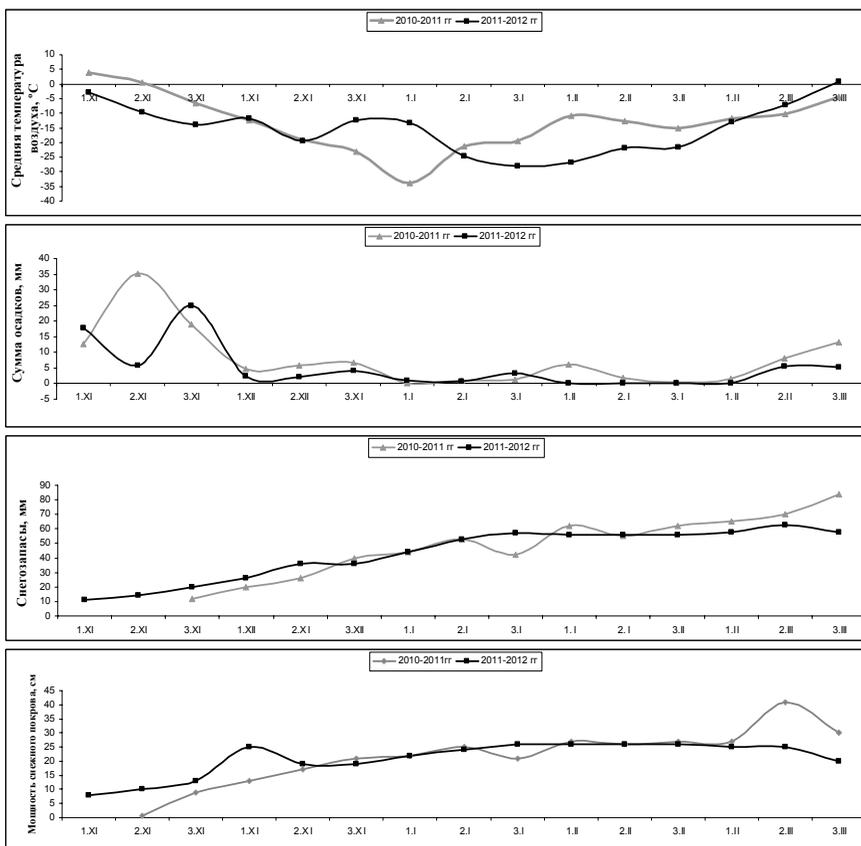


Рис. 1. Ход некоторых метеорологических показателей за холодный период 2010/11 и 2011/12 гг., по данным ГМС Ребриха

Таблица 1 – Продолжительность метелей (ч), скорость ветра и максимальный порыв (м/с)

Месяц	Скорость ветра м/с / максимальный порыв, м/с		Продолжительность метелей, ч	
	2010/11 г.	2011/12 г.	2010/11 г.	2011/12 г.
Ноябрь	9/20	8/20	7	46
Декабрь	10/21	8/17	241	156
Январь	8/22	5/10	26	17
Февраль	8/18	5/9	83	0
Март	9/20	9/17	67	64
Всего за зимний период	среднее значение		сумма	
	8,8/20,2	7/14,6	424	283

В январе 2011 г. наблюдалась неустойчивая погода с сильными морозами в первой половине и с заметным потеплением в конце 3-й декады. Вследствие прошедших низовых метелей средняя высота снежного покрова вдоль постоянного маршрута (поле) к концу января уменьшилась (рис. 2).



Рис. 2. Графики хода среднесуточной температуры воздуха и средней скорости ветра в январе 2011 г., по данным ГМС Ребриха

Таблица 2 – Основные характеристики снежного покрова по крупным структурным элементам бассейна р. Касмала в период максимального снегонакопления, вторая декада марта 2011 и 2012 гг.

Местоположение	Кол-во измерений мощности /плотности снега		H _{ср} , см		ρ _{ср} , г/см ³		W _{ср} , мм	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Левый борт	843/20	299/21	38	31	0,19	0,19	66,5	55,8
Правый борт*	396/9	241/28	52	35	0,2	0,19	112,8	67,92
Ложбина древнего стока (днище)	411/21	147/18	39	29	0,17	0,17	73	58,6

Примечание: * – для 2011 г. характерны высокие показатели снежного покрова, т.к. 40% измерений на маршруте было выполнено вдоль лесополос.

Для характеристики внутрибассейнового перераспределения снега бассейн реки был условно разделен на три части: днище или первая аккумулятивная терраса Касмалинской ложбины древнего стока (ДЛДС), юго-восточный склон Кулундинско-Касмалинского увала (левый борт) и северо-западный склон Касмалинско-Барнаульского увала (правый борт).

Анализ результатов двухлетних наблюдений показал, что снегонакопление на поверхности правого борта происходит интенсивнее, чем на поверхности левого и ДЛДС. Эта закономерность сохраняется и в более снежном 2011 г., и в менее снежном 2012 г. (табл. 2). Распределение снежного покрова по элементам ландшафтов бассейна р. Касмала в 2010/11 и

2011/12 гг. было крайне неравномерно (табл. 3). Наиболее заснеженными являются лесные полосы, колки, сосновый бор, наименее – основные поверхности увалов (пашня).

Таким образом, в разных частях модельного бассейна складываются различные условия для перераспределения снежного покрова. Метеоусловия зимнего периода вносят существенные коррективы этот процесс.

Таблица 3 – Основные характеристики снежного покрова по основным элементам ландшафтов бассейна р. Касмала в период максимального снегонакопления, вторая декада марта 2011 и 2012 гг.

Характеристика территории	Кол-во измерений мощности /плотности снега		2011			2012		
	2011	2012	H_{cp} , см	ρ_{cp} , г/см ³	W_{cp} , мм	H_{cp} , см	ρ_{cp} , г/см ³	W_{cp} , мм
Левый борт								
Основная поверхность	179/20	255/28	29	0,19	55,3	29	0,19	58,8
Лесные полосы	10/0	8/1	40	–	–	42	0,2	55,5
Колки	98/3	30/2	55	0,19	75	40	0,22	82,3
Долинно-балочная сеть	27/1	18/2	46	0,17	37,4	34	0,15	55
Правый борт								
Основная поверхность	118/3	53/6	39	0,12	52,8	36	0,19	77,2
Лесные полосы	188/3	38/5	69	0,25	189	37	0,17	58,2
Колки	67/2	38,5	48	0,21	88,3	35	0,19	64,4
Днище ложбины древнего стока								
Сосновый бор	201/5	139/16	43	0,18	79,4	29	0,18	61,3
Долина р. Касмала	29/2	18/2	31	0,17	73	26	0,19	55,1
Акватория оз. Арапово	43/2	–	44	0,13	60,35	–	–	–
Постоянный маршрут метеостанции Ребриха	100	100	29	0,26	75,4	25	0,25	63

Литература

1. Атлас Алтайского края. – М. – Барнаул: ГУГК, 1978. – Т. 1. – 222 с.
2. <http://www.gismeteo.ru>.

3. Быков Н.И., Попов Е.С. Наблюдения за динамикой снежного покрова в ООПТ Алтае-Саянского экорегиона. – Красноярск, 2011. – 64 с.
4. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – Вып. 3, Ч. Метеорологические наблюдения на станциях. – 300 с.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

В.А. Шлычков

Институт водных и экологических проблем СО РАН

HYDRODYNAMICAL ASPECTS OF CONSTRUCTION OF NUMERICAL MODEL OF THE NOVOSIBIRSK RESERVOIR

V.A. Shlychkov

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS

Представлены результаты численного моделирования кинематического режима Новосибирского водохранилища. Используются 2D, 3D-модели.

The results of numerical modelling of a kinematic structure of flow in Novosibirsk reservoir are submitted. 3D and 2D models are used.

Гидродинамические модели предназначены для расчета пространственно-временной динамики течений, расходов, уровней, распределения температуры, характеристик турбулентности, геометрии свободной поверхности, концентрации примеси, русловой деформации и др. В основу моделей положены фундаментальные законы механики жидкости, обеспечивающие возможность получения надежных количественных оценок. Методика численного моделирования основаны на решении следующих гидродинамических систем:

- одномерных уравнений Сен-Венана для движения воды в системе русел;
- двумерных (плановых) уравнений Сен-Венана;
- двумерных продольно-вертикальных уравнений гидрофизики водоемов;
- трехмерных уравнений гидротермодинамики в т.ч. негидростатических;

- уравнений транспорта наносов и донных деформаций;
- уравнений переноса загрязняющих примесей.

Применение трехмерной математической модели для Новосибирского водохранилища в целом не является оптимальным. При длине около 180 км оно имеет сравнительно небольшую среднюю ширину, т.е. в большей своей части носит продольно-руслый характер без заметного меандрирования. По этой причине в большинстве случаев оказывается достаточной двумерная или одномерная схематизация течений. Тем не менее, для локальных участков водоема, где развиваются сложные трехмерные течения, детализация структуры с помощью пространственной модели может быть весьма полезной. Так существенно неоднородным является течение в аванпорте ГЭС вблизи напорной стенки плотины. Здесь формируются значительные вертикальные токи, обусловленные искривлением траекторий при устремлении потока к водопринимным окнам гидроагрегатов. Этот процесс иллюстрирует рисунок 1, построенный по результатам расчета 3D модели. Вода может поступать в водопринимное устройство как с поверхности, так и с придонных горизонтов. Соотношение поверхностных и глубинных тепловых потоков влияет на состав примесей и температуру вод, сбрасываемых в нижний бьеф, что, в свою очередь, будет определять размеры полыньи в зимний период.

Вследствие торможения потока в чаше водохранилища его транспортирующая способность уменьшается, и большая часть взвесей оседает на дно. Взвеси абсорбируют загрязняющие вещества, которые также аккумулируются в донных отложениях. В задачах оценки темпов заиления водохранилища ведущими являются механизмы переноса взвешенных фракций, и поэтому важна вертикальная детализация обменных процессов с описанием турбулентного переноса. В качестве рабочего инструмента в данном случае может быть принята двумерная продольно-вертикальная модель, полученная из уравнений гидродинамики осреднением по поперечному к водотоку направлению и предназначенная для детализации вертикальной структуры гидрофизических параметров.

Для проведения расчетов рассмотрен участок Новосибирского водохранилища, примыкающий к плотине ГЭС. Расчет течения выполнен для расхода $Q=3000 \text{ м}^3/\text{с}$ и при устойчивой стратификации. Рисунок 2 показывает расчетную геометрию свободной поверхности и распределение скорости течения вдоль основного водотока. Вниз по течению ширина русла увеличивается, так что скорость течения падает, уменьшаясь от 0,8 м/с вблизи входного створа до 0,1 м/с на озерном участке водохранилища.

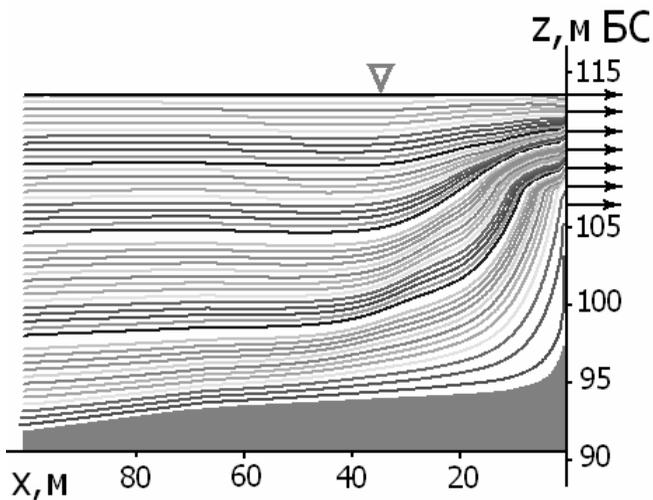


Рис. 1. Траектории частиц в вертикальной плоскости в районе водоприемного окна плотины

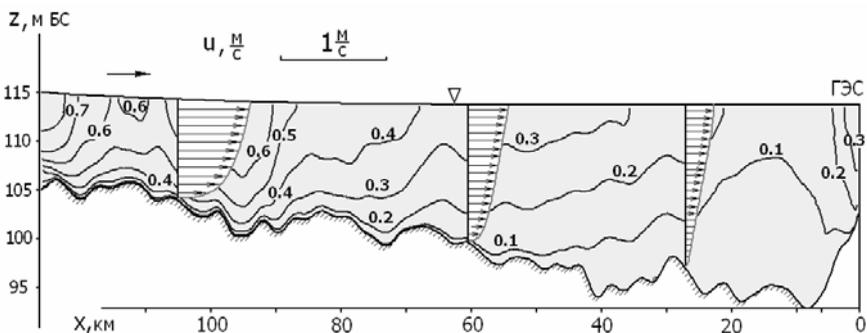


Рис. 2. Изолинии скорости течения (м/с) в вертикальной плоскости, полученные в рамках численной модели Новосибирского водохранилища с поперечным усреднением: стрелками показаны профили скорости на отдельных створах

В ходе интегрирования численная модель позволяет получить пространственную структуру всех искомых полей: вертикального компонента скорости, уклонов и геометрии свободной поверхности, распределение температуры и стратификацию, закономерности переноса примесей и наносов, интенсивность турбулентного обмена. Для расчета параметров турбулентности использована современная двухпараметрическая K, ε – модель, включающая уравнения для кинетической энергии пульсаций и скорости диссипации. Зона максимальной интенсивности турбулентного

перемешивания располагается в средних слоях воды. Турбулентность уменьшается с приближением к донной и свободной поверхностям, что соответствует базовым теоретическим положениям.

Для оценки адекватности модели использовались результаты анализа 8 донных кернов, взятых в 1998-2003 гг. на акватории разных гидрологических районов водохранилища. Сопоставительный анализ модельных и фактически наблюдаемых параметров донного профиля показал приемлемое качество расчетов. В частности, с удовлетворительной точностью совпали теоретическая толщина слоя твердых осадков за 43-летний период существования водохранилища с результатами анализа проб донного грунта.

Средствами продольно-вертикальной модели можно оценить объемы загрязняющих веществ и биогенных элементов, накапливающихся в донных отложениях с течением времени. Это обстоятельство является весьма важным для анализа рисков вторичного загрязнения вод, которое зачастую носит опасный залповый характер.

Для расчета плановой структуры водотока, в т.ч. вдольберегового переноса требуется учесть пространственную конфигурацию водного зеркала и линии уреза в плане. Этим целям может служить модель водохранилища с вертикальным осреднением по глубине, основанная на двумерных уравнениях Сен-Венана. Она обычно применяется для расчета русловых потоков сложной плановой геометрии, каким является Новосибирское водохранилище.

Алгоритмическая реализация плановой модели основана на применении криволинейных смещенных сеток, адаптированных под геометрию водного зеркала и морфометрию дна.

Результующей продукцией плановой модели являются пространственно распределенные поля скорости и уровня свободной поверхности. Расчетные линии тока в русловой части и озерном сегменте водохранилища иллюстрирует рисунок 3.

Работа выполнена при поддержке интеграционного проекта СО РАН № 109.

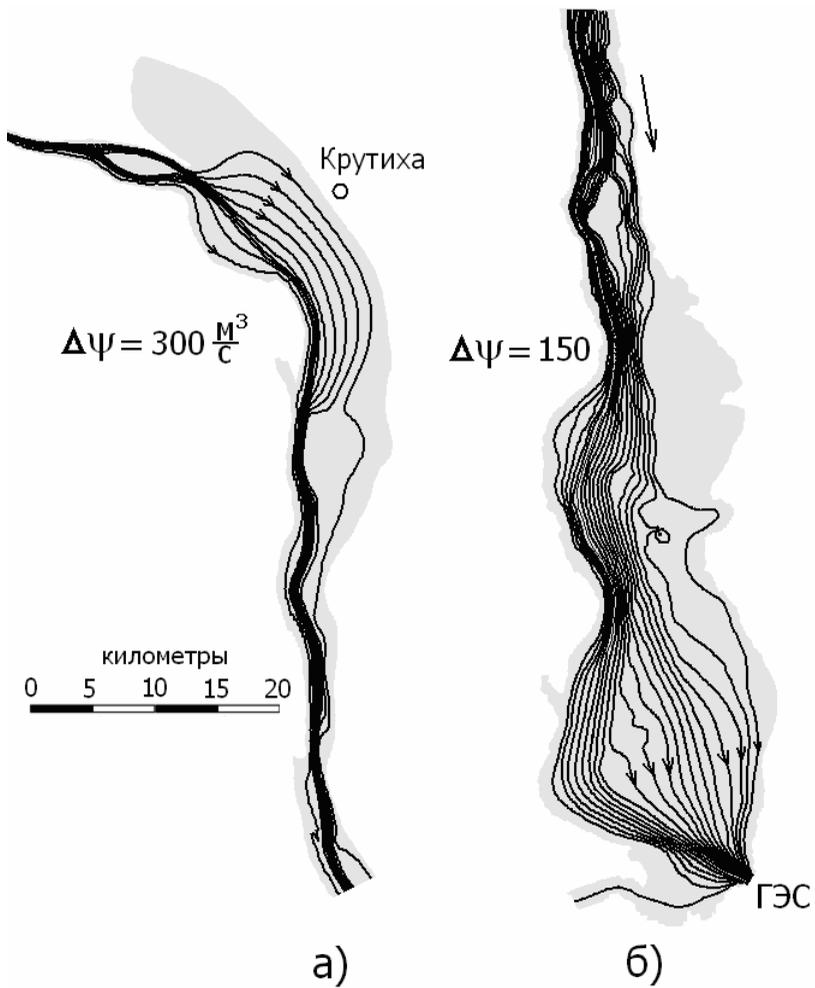


Рис. 3. Расчетные линии тока в верхней (а) и нижней (б) части водохранилища

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА СОЗДАНИЯ WEB-ГИС НА БАЗЕ GEOSERVER

Н.А. Балдаков¹, К.Б. Кошелев¹, О.В. Ловцкая¹, А.А. Черкашин²

*¹– Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения
РАН*

*²– Алтайский государственный технический университет им. И.И.
Ползунова*

TOOLS FOR CREATING WEB-GIS BASED ON GEOSERVER

N.A. Baldakov¹, K.B. Koshelev¹, O.V.Lovtskaya¹, A.A. Cherkashin²

*¹- Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the
Russian Academy of Sciences,*

lov@iwep.ru

²- I.I. Polzunov Altai State Technical University

В статье обсуждается вопрос создания генератора SLD-файлов (SldGenerator), предоставляющего пользователю возможность стилизации и публикации пространственных данных посредством простого и интуитивно понятного интерфейса.

In this article we consider the case for developing the application generating files in SLD (Style Layer Descriptor) format which provides possibilities to style and publish spatial data by means of simple and user-friendly interface

Последние годы характеризуются интересом к веб-картографии и ее возможностям, а также значительным ростом числа сервисов, в той или иной форме использующих картографические веб-технологии. Наиболее важной тенденцией является появление большого числа бесплатных проектов, реализующих концепцию предоставления преобразованных данных; увеличение возможностей персонификации сервисов; возможности интеграции собственных данных с существующими сервисами [1].

Типичное интернет-приложение включает в себя три функциональных составляющих: презентационный сервис (клиентский интерфейс), сервис прикладной логики (серверное приложение) и сервис данных [2]. Функции каждой составляющей описаны таблице 1.

Таблица 1 – Компоненты интернет-приложения

Тип сервиса	Функции
Презентационный сервис	Отображение информации, доступ к функциональности, поддержка навигации по данным, защита целостности пользовательского интерфейса
Прикладная логика	Исполнение и поддержка нужных расчетных и управляющих алгоритмов, генерация новых данных, получаемых в результате вычислений и обеспечение их целостности
Сервис данных	Поддержка структуры данных, обеспечение доступа к данным, защита целостности данных

Презентационный сервис отвечает за взаимодействие приложения с пользователем. Сервис прикладной логики выполняет основную функциональность приложения, сервис данных, реализуемый, как правило, через систему управления базами данных, обеспечивает взаимодействие приложения с данными.

Архитектура распределенного ГИС-приложения выглядит следующим образом: клиент – Web-сервер – сервер приложений ГИС – сервер пространственных данных. Сервер приложений ГИС реализует базовый набор функций ГИС, которые объединяются в программные компоненты, предоставляющие для использования свои методы и свойства. Этот подход позволяет использовать на клиентских компьютерах достаточно простые приложения, в том числе и стандартные Интернет-браузеры, сосредоточив основную массу вычислений на сервере. За счет того, что вычисления выполняются на сервере, значительно уменьшается объем передаваемых данных, так как пользователю передается только конечный результат обработки его запроса, а не все данные, необходимые для его исполнения.

Архитектура ГИС на основе кроссплатформенного картографического сервера Geoserver [3] представлена на рисунке 1.

При работе с пространственными данными Geoserver оперирует четырьмя основными абстракциями: «Источник данных», «Слой», «Стиль слоя» и «Рабочее пространство».

В качестве источника данных Geoserver использует базы данных под управлением СУБД PostgreSQL/PostGIS [4, 5]

Управление стилем векторного слоя осуществляется путем передачи серверу файла в формате SLD (Style Layer Descriptor). В Geoserver логической единицей, соответствующей отдельному GIS проекту, является «Рабочее пространство» (workspace). Оно содержит источники данных, набор слоев и набор стилей – XML файлов, описывающих визуальное представление и символику слоя.

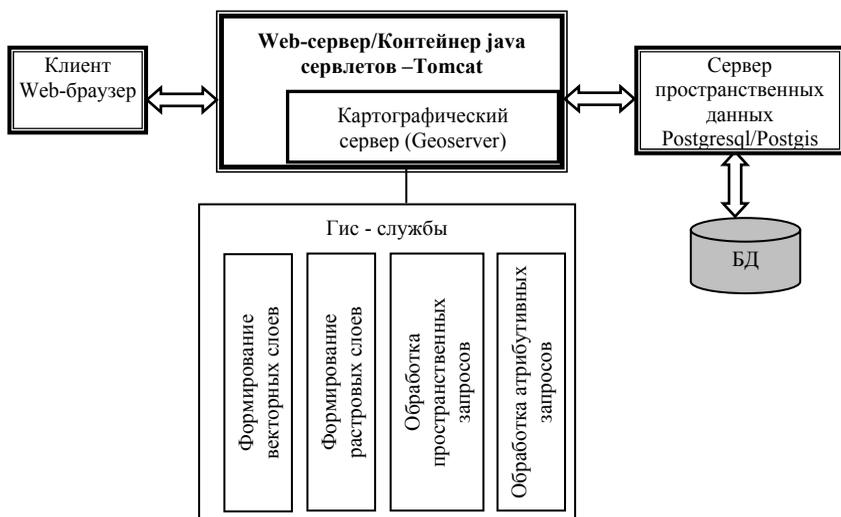


Рис. 1. Архитектура ГИС

Абстракция Geoserver «Слой» объединяет в себе непосредственно географические данные, один или более присоединенных к слою стилей и, опционально, ссылку на метаданные. Стиль слоя в Geoserver создается на XML-подобном языке разметки «Style Layer Descriptor» (SLD). Стиль задает цвета геометрических объектов, тип и толщину линий, символику для точечных слоев, текстовые подписи. В стандарт SLD включена возможность представлять тот или иной объект в зависимости от приданной ему атрибутивной информации и текущего для пользователя масштаба карты, что позволяет выполнять генерализацию и решать другие геоинформационные задачи. Однако непосредственно описание стиля слоя на языке SLD является весьма нетривиальной задачей, что затрудняет возможность формирования и настройки ГИС-проектов клиентами – экспертами предметной области. Для визуального определения стиля слоя разработан генератор SLD-файлов (SldGenerator), предоставляющий пользователю возможность стилизации и публикации пространственных данных с использованием простого и интуитивно понятного интерфейса.

SldGenerator создан на базе фреймворка Eclipse RCP [6], обеспечивающего возможность быстрой разработки приложений с графическим интерфейсом. В качестве инструмента обработки и визуализации пространственных данных использована библиотека GeoTools, включающая набор средств для манипулирования картографическими данными и их отображением [7]. На рисунке 2 представлена архитектура разработанного приложения, на рисунке 3 – схема задания стиля в спецификации SLD

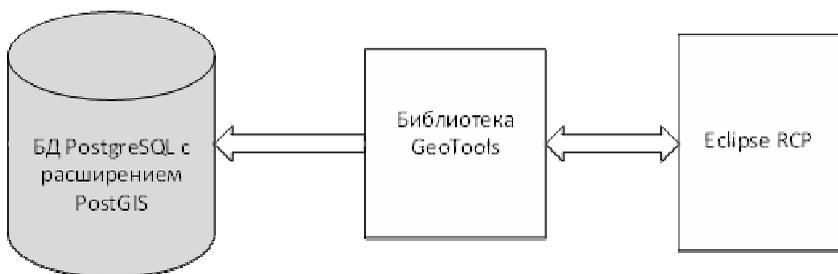


Рис. 2. – Архитектура приложения SldGenerator

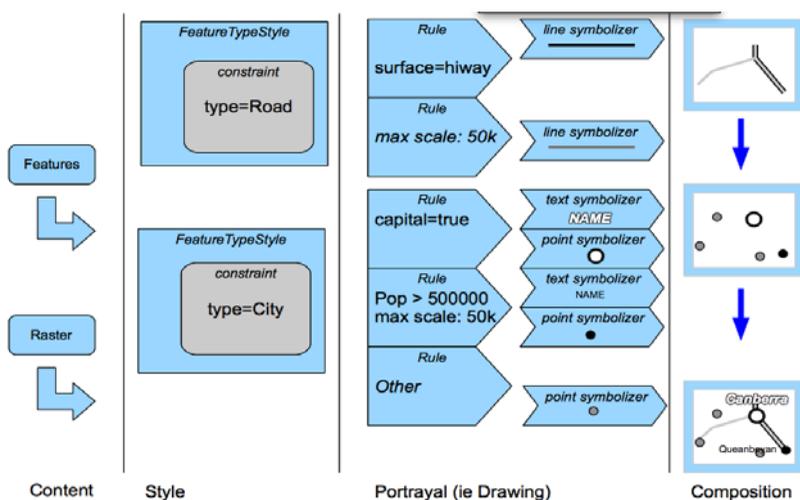


Рис. 3 – Схема задания стиля в спецификации SLD

Согласно схеме формирование стиля выполняется в следующей последовательности:

- задается тип (content) слоя – векторные объекты или растр;
- в зависимости от типа примитива и значений некоторого атрибута пространственных данных выполняется разбиение объектов на группу категорий;
- к объектам каждой категории применяется ограничивающее правило (например, максимальный и минимальный масштабы видимости);
- для полученной в результате выборки определяется стиль отображения. Стилем можно задать толщину линии, ее цвет, прозрачность, цвет заливки (при использовании полигонов), прозрачность заливки, также для точечных примитивов можно указать символ. Для всех типов пространственных объектов можно указать атрибут, который будет отображаться в виде надписи.

Рисунок 4 иллюстрирует алгоритм визуального определения стиля на примере полигонального слоя "Природные зоны" в составе ГИС "Реестр водных объектов Обь-Иртышского бассейна".

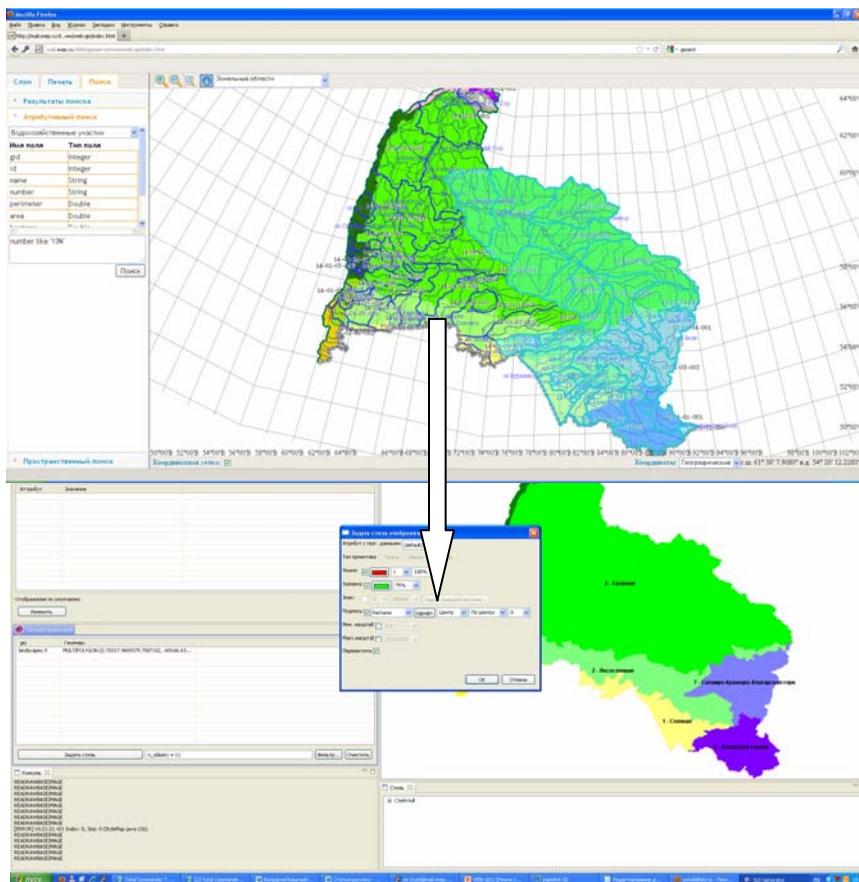


Рис.4.– Вид пользовательского интерфейса по настройке стиля слоя карты

SldGenerator использован при разработке ГИС-проекта "Реестр водных объектов Обь-Иртышского бассейна" [8] в рамках геопортала "Водные объекты Обь-Иртышского бассейна" и включен в набор инструментальных средств на стороне клиента для разработки ГИС-приложений на базе картографического сервера с открытым кодом.

Работа выполнена в рамках проекта СО РАН IV.31.2.12. Разработка проблемно-ориентированных ГИС и информационно-моделирующих комплексов для

изучения водных объектов Сибири на основе новых методов интеграции пространственных междисциплинарных данных.

Литература

1. Веб-ГИС [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/webgis.html>
2. А.М. Чандра, С.К. Гош. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. Москва: Техносфера, 2008. – 312 с.
3. What is GeoServer [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://geoserver.org/display/GEOS/What+is+GeoServer>
4. Краткий обзор возможностей PostgreSQL [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://postgresql.ru/net/>
5. What is PostGIS [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://postgis.refractor.net/>
6. Eclipse's Rich Client Platform, Часть 1: Начало [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.ibm.com/developerworks/ru/edu/os-rcp1/section3.html>
7. Architecture – GeoTools 8.0-RC1 User Guide [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://docs.geotools.org/latest/userguide/welcome/architecture.html>
8. Ловцкая О.В., Балдаков Н.А., Кошелев К.Б. Использование картографического сервера с открытым кодом для создания ГИС «Реестр водных объектов Обь-Иртышского бассейна» // Проблемы мониторинга окружающей среды: Сборник трудов XI Всероссийской конференции с участием иностранных ученых (24-28 октября 2011г.) Кемерово: КемГУ. 2011. – С. 336-340

СОДЕРЖАНИЕ

Т.А. Аверина О математической модели рассеяния частиц в неоднородном турбулентном конвективном граничном слое	3
В.В. Беликов, А.В. Глотко, И.В. Белоусова, А.С. Завадский Применение численного гидродинамического моделирования для решения проблем пограничных водных объектов Сибири	7
Г.В. Белоненко, В.С. Салтыкова Динамика водопользования и техногенной нагрузки на водные ресурсы в субъектах федерации Западной Сибири.....	16
М.В. Болгов, Е.А. Коробкина, О.В. Кондакова Вероятностный прогноз уровня озера Чаны для различных сценариев развития водопользования ...	18
О.В. Газаринова Условия самоочищения поверхностных вод бассейна оз. Байкал	27
В.П. Галахов Влияние болот бассейна Оби на естественную зарегулированность поверхностного стока.....	30
В.А. Земцов, Д.А. Вершинин, Н.Г. Инишев Применение имитационных компьютерных моделей участков речной сети для расчета и прогноза полей скорости, стока наносов и русловых деформаций	34
А.Т. Зиновьев, В.П. Галахов, Е.Д. Кошелева, О.В. Ловцкая Формирование поверхностного стока на юге Западной Сибири в условиях изменяющегося климата	37
А.Т. Зиновьев, Е.Ю. Митрофанова, Е.И. Третьякова, К.В. Марусин, А.В. Дьяченко, Р.Ю. Гнатовский, Н.Г. Гранин, В.В. Блинов Комплексные исследования Телецкого озера: термический режим, гидрохимические и гидробиологические характеристики	43
Д.В. Золотов, О.П. Николаева, Д.В. Черных Анализ климато-гидрологического фона для оценки водных ресурсов (к методике ландшафтно-гидрологических исследований)	48
Е.В. Кальнеус, В.С. Кусковский Разведка подземных вод с помощью магниторезонансного зондирования.....	52
Ю.Б. Кирста, О.В. Ловцкая, А.В. Пузанов Имитационная математическая модель стока взвешенных веществ в бассейнах горных рек.....	57
А.Б. Китаев, В.М. Носков Формирование температурного режима приплотинной части Камского водохранилища под влиянием теплового загрязнения Пермской ГРЭС.....	61
С.Г. Копысов, А.В. Карпов Учёт ландшафтных условий в методе гидроклиматических расчётов	67

В.Н. Кузин, Е.Н. Голубева Моделирование гидрофизических процессов в Аральском море на основе 3D модели	72
А.Ф. Курбацкий, Л.И. Курбацкая Особенности вихревого перемешивания и энергетика турбулентности в устойчиво стратифицированных течениях окружающей среды	79
Л.А. Кустарева Теория и практика акклиматизации на примере озера Иссык-Куль	91
О.В. Ларченко, С.А. Двинских Функциональная роль водного фактора в природно-антропогенных комплексах (на примере Усть-Качкинской рекреационной зоны)	96
В.Г. Лужецкий Газовыделение в Телецком озере	101
В.К. Маев, А.А. Фоменко Воспроизведение региональных гидрофизических характеристик на основе региональной климатической модели и данных реанализа	105
В.В. Малахова, Е.Н. Голубева Роль речного стока в увеличении концентрации растворенного метана в водах Восточно-Сибирского шельфа	110
Е.И. Морару, И.И. Ипполитов, С.В. Логинов Связь изменчивостей потоков тепла в Северной Атлантике с гидрометеорологическими условиями Сибири в период с 1960 по 2009 годы	114
П.В. Новороцкий Сток реки Амур в условиях меняющегося климата и антропогенных факторов	118
В.В. Паромов, Л.Н. Шантыкова Внутригодовой режим стока рек Алтае-Саянской горной области в условиях климатических изменений	121
О.Г. Савичев Математическая модель месячного водного баланса водосборов таёжных рек Западной Сибири	126
В.М. Савкин, С.Я. Двуреченская Приоритетные компоненты водно-ресурсной системы Новосибирского гидроузла	130
В.А. Семёнов, И.В. Семёнова, Т.В. Большух, Е.И. Авдюшкина Климатическая обусловленность экстремальности гидрологических явлений на реках и экологического состояния рек и водоёмов в горах юга Сибири	135
К.И. Соколов, И.И. Ипполитов, С.В. Логинов Исследование содержания влаги на различных изобарических уровнях на территории Западной Сибири за период 1891-2008 годы	139
И.А. Суторихин, В.И. Букатый, О.Б. Акулова, А.В. Котовщиков, А.В. Дьяченко, С.А. Литвиненко Сезонная динамика гидротермических параметров, спектральной прозрачности и содержания хлорофилла внутренних водоёмов Алтая	144

Е.Л. Счастливец, С.Г. Пушкин, А.А. Вортилов О трансформации состава подземных вод в районах затопленных шахт Кузбасса	149
Е.А. Цветова Математическое моделирование процессов, приводящих к обновлению глубинных вод Байкала.....	156
Д.В. Черных, Д.В. Золотов, Р.Ю. Бирюков, Т.В. Тарасова Перераспределение зимних осадков в различных ландшафтах и его зависимость от метеоусловий (на примере бассейна реки Касмала, Алтайский край)	160
В.А. Шлычков Гидродинамические аспекты построения численной модели Новосибирского водохранилища.....	165
Н.А. Балдаков, К.Б. Кошелев, О.В. Ловцкая, А.А. Черкашин Инструментальные средства создания веб-ГИС на базе Geoserver	170

CONTENTS

<i>T.A. Averina</i> About Mathematical Model of Particle's Dispersion in a non Uniform Turbulent Convective Boundary Layer	3
<i>V.Belikov, A. Glotko, I.Belousova, A.Zavadsky</i> Application of Numerical Hydrodynamic Modeling for Solving Border Water Objects in Siberia	7
<i>Dr. G.V. Belonenko, V.S. Saltycova.</i> Dynamics of Water Utilization and Technogenic Load on Water Resources in the Western Siberia Regions.....	16
<i>M.V. Bolgov, E.A.Korobkina, O.V. Kondakova</i> Forecasting Water Level for Lake Chany for Different Water Use Condition in the Watershed.....	18
<i>O.V. Gagarinova</i> Conditions of Self-Purification of Surface Waters of Lake Baikal Basin	27
<i>V.P. Galakhov</i> The Influence of Swamps in the R.Ob' Basin on Natural Regulation of Surface Runoff.....	30
<i>V.A. Zemtsov, D.A. Vershinin, N.G. Inishev</i> Application of Imitative Computer Models of the River Network Reaches for Computation and Forecast of Velocity Fields, Sediment Flow and River Channel Deformations..	34
<i>A.T. Zinoviev, V.P. Galakhov, E.D. Kosheleva, O.V. Lovtskaya</i> Formation of Surface Runoff in the South of Western Siberia Climate Change.....	37
<i>A.T. Zinovyev A.T., E.Yu. Mitrofanova, E.I. Tretyakova, K.V. Marusin, A.V. Dyachenko, R.Yu. Gnatovsky, N.G. Granin, V.V. Blinov</i> Lake Teletskoye Integrated Study: Termal Regime, Hydrochemical and Hydrobiological Characteristics	43
<i>D.V. Zolotov, O.P. Nikolaeva, D.V. Chernykh</i> The Analysis of Climatic-Hydrologic Background for Water Resources Assessment (to the Technique for Landscape-Hydrologic Studies).....	48
<i>E.V. Kalneus, V.S. Kuskovskiyi</i> The Groundwater Searching by Magnetic Resonance Sounding	52
<i>Yu.B. Kirsta, O.V. Lovtskaya, A.V. Puzanov</i> Simulation Mathematical Model of Suspended Material Drain in Mountain River Basins.....	57
<i>A.B. Kitaev, V.M. Noskov.</i> Formation of Temperature Regime of Damb Part Kamskoe Reservoir under Influents Warm Soil from Perm Warm Station.....	61
<i>S.G. Kopysov, A.V. Karpov</i> Correction for Landscape Conditions in the Hydroclime Simulation Method.....	67
<i>V.I. Kuzin, E.N. Golubeva</i> Modeling of the Hydrothermodynamical Processes in the Aral Sea on the Base of 3D Model.....	72
<i>A.F. Kurbatskiy, L.I. Kurbatskaya</i> Features of Eddy Mixing and Energetics of Turbulence in Stably Stratified Flows of Environment.....	79
<i>L.A. Kustareva</i> Theory and Practice of Accimatization through the Example of Lake of Issyk-Kul	91

<i>O.V. Larhcenko, S.A. Dvinskii</i> Functional Role of a Water Factor in Natural and Anthropogenous Complexes (on an Example of the Ust-Kachka Recreational Zone)	96
<i>V.G. Luzhetskoye</i> Gassing in Lake Teletskoye	101
<i>V.K. Maev, A.A. Fomenko</i> Reproduction of Regional Hydrophysical Characteristics on the Base of Regional Climatic Model and Reanalysis Data... ..	105
<i>V.V. Malakhova, E.N. Golubeva</i> The Role of River Runoff in Increasing of Dissolved Methane Concentration in East Siberian Shelf Waters.....	110
<i>E.I. Moraru, I.I. Ippolitov, S.V. Loginov</i> Connection of Variability of Heat Fluxes in the North Atlantic With Hydrometeorological Conditions of Siberia in the Period From 1960 To 2009.....	114
<i>P.V. Novorotsky</i> Runoff of the Amur River in Conditions of a Changing Climate and Anthropogenous Factors	118
<i>V.V. Paromov, L.N. Shantikova</i> Intra-Flow Regime of the Rivers of the Altai-Sayan Mountain Region To Climate Change	121
<i>O.G. Savichev</i> Mathematical Model of Monthly Water Balance of Taiga River Basins in the Western Siberia.....	126
<i>V.M. Savkin, S.Ya. Dvurechrenskaya</i> Priorities of Novosibirsk Hydrosystem's Water Storage Utilization	130
<i>V.A. Semyonov, I.V. Semenova, T.V. Bolbuh, E.I. Avdyshkina</i> Climatic Causality of Extreme Hydrological Events on Rivers and Ecological State of Mountain Rivers and Water Bodies in Southern Siberia.....	135
<i>K.I. Sokolov, I.I. Ippolitov, S.V. Loginov</i> Investigation of Moisture Content At Different Isobaric Levels Over the Territory of Western Siberia During the Period of 1891-2008.....	139
<i>I.A. Sutorikhin, V.I. Bukaty, O.B. Akulova, A.V. Kotovschikov, A.V. Dyachenko, S.A. Litvinenko</i> Seasonal Dynamics of Hydrothermal Parameters, Spectral Transparency and Chlorophyll Content of Inland Waters of the Altai.....	144
<i>E.L. Schastlivtsev, S.G. Pushkin, A.A. Vorotilov</i> About Transformation of Composition of Groundwater in Areas of Flooded Mines of Kuzbass.....	149
<i>E.A. Tsvetova</i> Mathematical Modeling of Processes Leading To Deep Water Renewal in Lake Baikal	156
<i>D.V. Chernykh, D.V. Zolotov, R.Y. Biryukov, T.V. Tarasova</i> Redistribution of Winter Precipitation in Different Landscapes and its Dependence on Meteorological Conditions (as a Case Study Kasmala River Basin, Altai Krai)..	160
<i>V.A. Shlychkov</i> Hydrodynamical Aspects of Construction of Numerical Model of the Novosibirsk Reservoir.....	165
<i>N.A. Baldakov, K.B. Koshelev, O.V. Lovtskaya, A.A. Cherkashin</i> Tools for creating Web-GIS Based on GeoServer	170

Научное издание

**ВОДНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
СИБИРИ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ**

(в трех томах)

Т. I

**Формирование водных ресурсов суши в условиях природных и
антропогенных воздействий**

Труды Всероссийской научной конференции с международным участием,
посвященной 25-летию юбилею Института водных и экологических проблем

СО РАН

(20-24 августа 2012 г., Барнаул)

Подготовка оригинал-макета О.В. Ловцкой
Обложка – фото и дизайн Е.Ю. Митрофановой

Подписано в печать 01.07.2012. Формат 60x84/16.
Бумага офсетная. Усл. п. л. 10,57
Тираж 300 экз. Заказ 45.

Институт водных и экологических проблем СО РАН
656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1

Отпечатано в типографии ООО «Пять плюс»
656049, г. Барнаул, пр. Красноармейский, 73
тел. (385-2) 62-85-57, e-mail: fiveplus07@mail.ru