

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЗАЦИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МОДЕЛЯХ ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ СУШИ (НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛИ TerM)

Гельфан А.Н.^{1,2}, Медведев А.И.^{1,2}, Степаненко В.М.^{1,2}



Московский
государственный
университет
имени М.В. Ломоносова

¹МГУ имени М.В. Ломоносова

²Институт водных проблем РАН



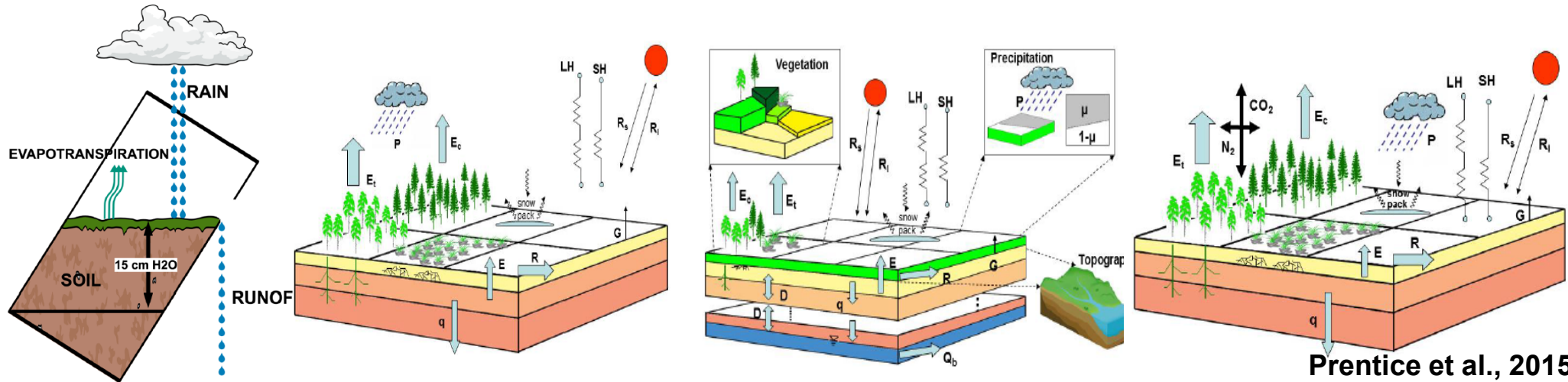
Международная конференция «Физика атмосферы и климата»,
посвященная 70-летию Института физики атмосферы им. А.М.
Обухова РАН, 6-9 апреля 2026 г. Кисловодск, Россия

Содержание

1. Описание гидрологического цикла суши в моделях Земной системы: актуальность и проблемы
2. О системе физико-математических моделей гидрологических процессов ИВП АН СССР (РАН)
3. О некоторых возможностях совершенствования описания гидрологических процессов в модели деятельного слоя суши ИВМ РАН-НИВЦ МГУ (из опыта гидрологического моделирования)
 - *Совершенствование моделей тепло-влажнопереноса в мерзлой почве*
 - *Совершенствование методов описания подсеточной изменчивости впитывающей способности почвогрунтов и снежного покрова*
 - *Переход от регулярной широтно-долготной сетки к схематизации на основе концепции элементарных водосборов*
 - *Методы задания параметров и проверки моделей*
4. Заключительные комментарии

Описание гидрологического цикла суши в моделях Земной системы: актуальность и проблемы

Эволюция моделей деятельного слоя суши (Land Surface Models, LSMs)



1st LSM generation:

Manabe's
bucket model
(1969)

2nd LSM generation:

Deardorff's model (1978),
BATS
(Dickinson et al., 1986)
SiB Sellers et al. (1986)
Лыкосов, Палагин, 1978

3rd LSM generation:

VIC (Liang et al., 1996),
TOPLATS
Famiglietti, Wood (1994)
NOAH (Chen et al., 1996)
Володин, Лыкосов, 1998

4th LSM generation:

Sellers et al., 1997
Pitman, 2003
Prentice et al., 2014
Stepanenko et al., 2016,
2019

Совершенствование моделей ДСС актуально не только для уточнения его вклада в динамику климатической системы, но и ввиду расширения использования моделей ЗС как инструмента оценок влияния изменения климата на природные системы суши, экологических и социально-экономических последствий этих изменений

Описание гидрологического цикла суши в моделях Земной системы: актуальность и проблемы

Описание процессов гидрологического цикла суши в моделях Земной системы нередко упрощены по сравнению с параметризациями процессов в атмосфере и океане, что проявляется в **существенных погрешностях оценок и росте неопределенности сценарных прогнозов гидрологических характеристик**. Прежде всего, это относится к оценкам сезонных изменений речного стока **на региональном масштабе**. И отставание в этой области не преодолено за последние десятилетия

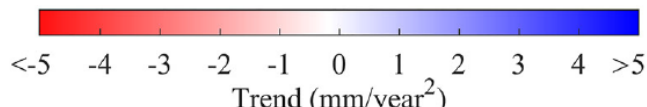
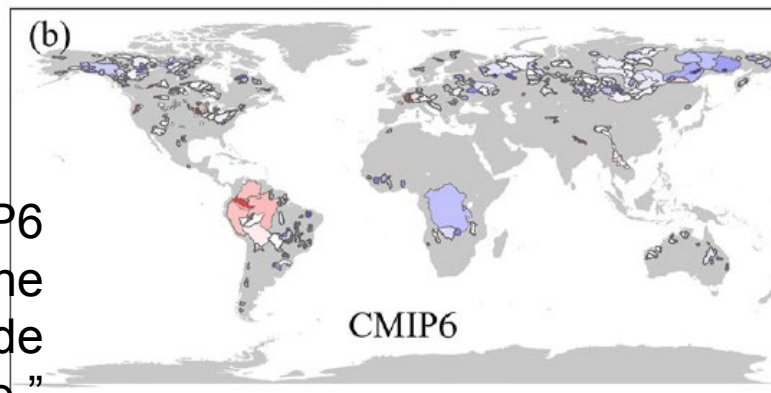
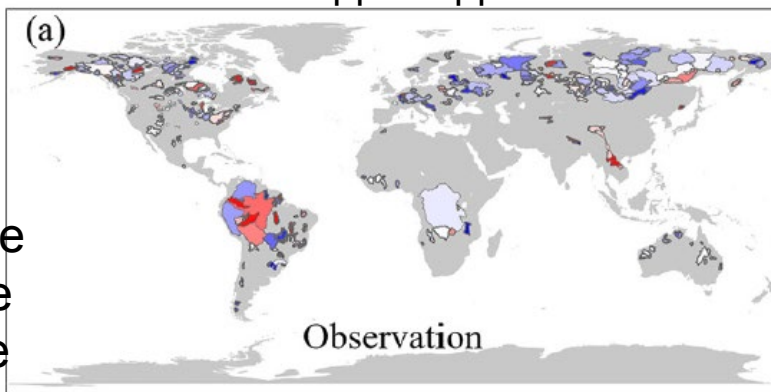
1997 год

“The annual total local runoff is systematically underestimated by all but one of the participant models. This is one of the few significant biases between the consensus of participant models and the observations.” (Wetzel et al., 1997)

.....

2022 год

“Compared with CMIP5 models, CMIP6 models have less uncertainty on the global scale, but it has not made outstanding progress on the basin scale.” (Guo et al., 2022)



From 21 global models (12 climate models from CMIP6, 6 global hydrological ISMIP2a, and 3 LSMs from the Global Land Data Assimilation System (GLDAS), “no model performs satisfactorily in capturing the annual runoff trend” (Hou et al., 2023)

Описание гидрологического цикла суши в моделях Земной системы: актуальность и проблемы

ISIMIP Water Sector: 2nd phase results

Environmental Research Letters

LETTER

Intercomparison of regional-scale hydrological models and climate change impacts projected for 12 large river basins worldwide—a synthesis

Valentina Krysanova^{1,19}, Tobias Vetter¹, Stephanie Eisner^{2,3}, Shaochun Huang^{1,4}, Ilias Pechlivanidis⁵, Michael Strauch⁶, Alexander Gelfan⁷, Rohini Kumar⁸, Valentin Aich^{1,9}, Berit Arheimer⁶, Alejandro Chamorro⁶, Ann van Griensven^{10,11}, Dipankar Kundu¹², Anastasia Lobanova¹, Vimal Mishra¹³, Stefan Plötner¹⁴, Julia Reinhardt¹, Ousmane Seidou¹⁵, Xiaoyan Wang¹⁶, Michel Wortmann^{1,17}, Xiaofan Zeng¹⁸, Fred F Hattermann¹

Environmental Research Letters

LETTER

Worldwide evaluation of mean and extreme runoff from six global-scale hydrological models that account for human impacts

Jamal Zaherpour^{1,19}, Simon N Gosling⁴, Nick Mount¹, Hannes Müller Schmied^{2,3}, Ted I E Veldkamp^{1,18}, Rutger Dankers⁶, Stephanie Eisner⁴, Dieter Gerten^{7,8}, Lukas Gudmundsson⁹, Ingjerd Haddeland¹⁰, Naota Hanasaki¹¹, Hyunjung Kim¹², Guoyong Leng¹³, Junguo Liu¹⁴, Yoshimitsu Masaki¹⁵, Taikan Oki^{12,16}, Yadu Pokhrel¹⁷, Yusuke Satoh¹⁸, Jacob Schewe⁷ and Yoshihide Wada¹⁸

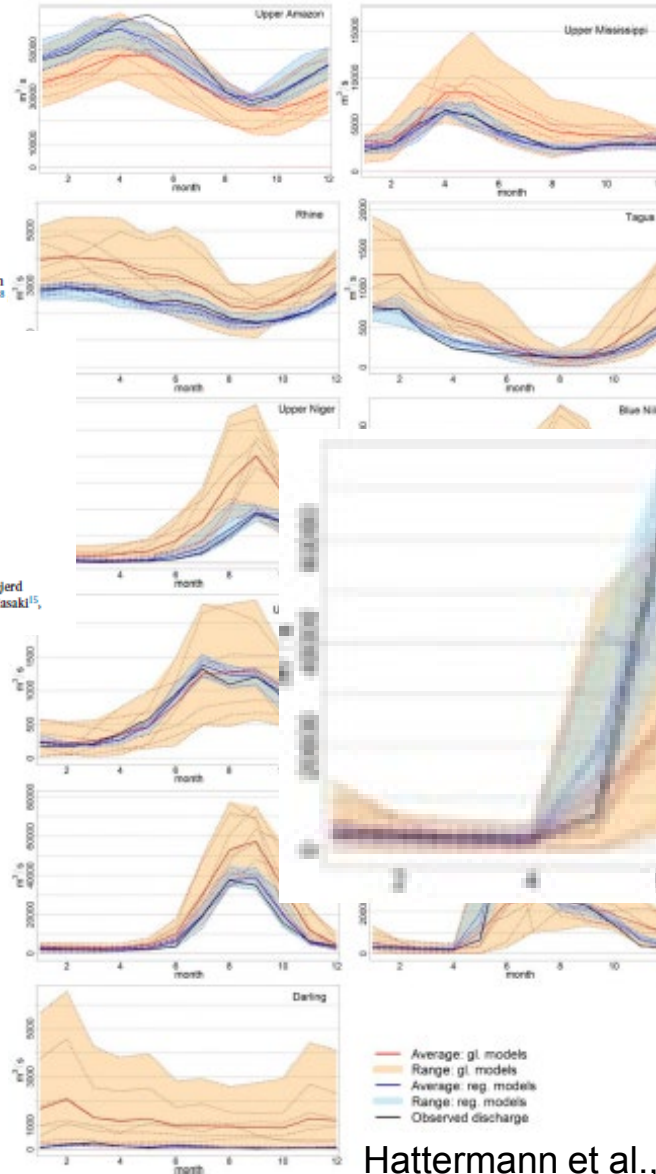
Climate Change (2017) 141:561–576
DOI 10.1007/s10584-016-1829-4



Cross-scale intercomparison of climate change impacts simulated by regional and global hydrological models in eleven large river basins

F. F. Hattermann¹ · V. Krysanova¹ · S. N. Gosling² · R. Dankers³ · P. Dagguapati⁴ · C. Donnelly⁵ · M. Flörke⁶ · S. Huang¹ · Y. Motovilov⁷ · S. Buda⁸ · T. Yang^{9,10} · C. Müller¹ · G. Leng¹¹ · Q. Tang¹² · F. T. Portmann¹³ · S. Hagemann¹⁴ · D. Gerten^{1,15} · Y. Wada^{14,17,18,21} · Y. Masaki¹⁹ · T. Alemayehu²⁰ · Y. Satoh²¹ · L. Samaniego²²

Received: 8 January 2016 / Accepted: 6 October 2016 / Published online: 4 January 2017
© Springer Science+Business Media Dordrecht 2017



Key findings

In the reference conditions gHMs often show considerable biases in mean monthly and annual discharges and

Lena

nality, show a production re milarity of ge from is

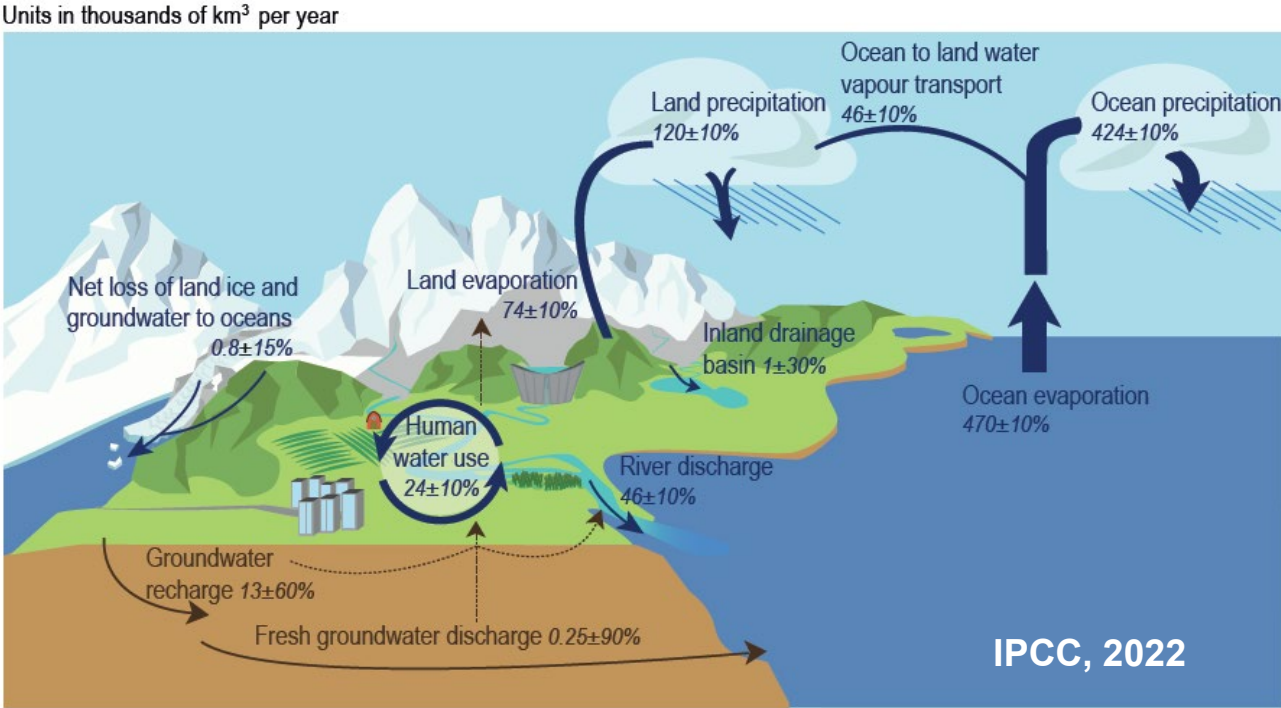
confirmed statistically only in five cases of eleven.

Hattermann et al., 2017

Описание гидрологического цикла суши в моделях Земной системы: актуальность и проблемы

Климатическая роль речного стока

По оценкам IPCC AR6 38% от глобальной климатической нормы осадков составляет сток рек в океан, а в некоторых регионах речной сток превышает 50%, т.е. нормы суммарного испарения и речного стока оцениваются близкими величинами. Учитывая сравнительно высокую точность и большое число данных о речном стоке можно утверждать, что точность расчета моделью ДСС наблюдаемого речного стока может служить мерой точности моделирования влагообмена суши с атмосферой

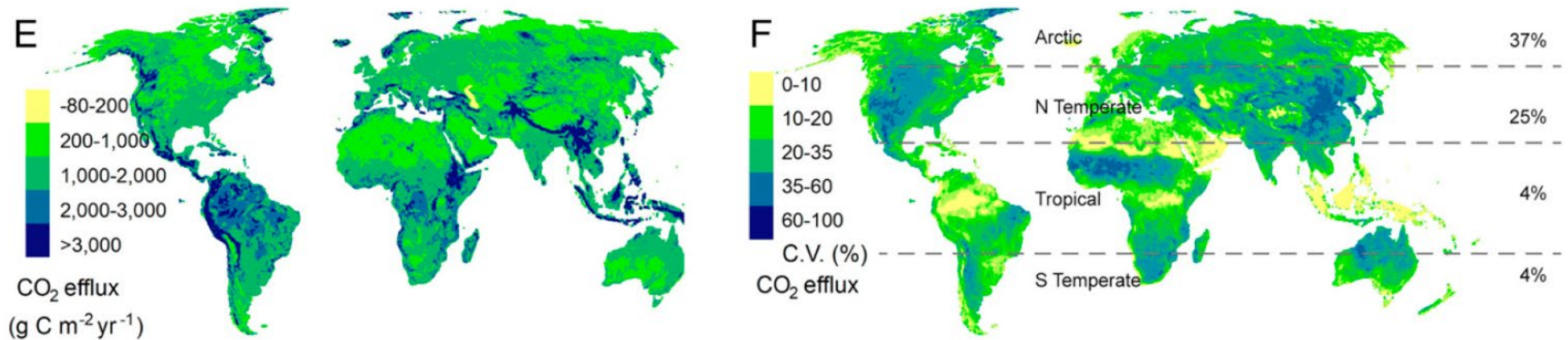


Region	Area (1,000 km ²)	Precipitation (mm)	Precipitation (km ³)	Runoff (mm)	Runoff (km ³)	Runoff coefficient
Global	133,406.7	777.4	103,709.8	358.9	47,884.0	0.4617
Asia	43,296.6	632.9	27,401.4	313.4	13,571.2	0.4953
Europe	9814.6	651.4	6392.9	296.4	2908.9	0.4550
Africa	30,206.6	666.7	20,137.3	229.9	6944.4	0.3449
North America	23,281.8	678.6	15,798.1	323.8	7538.0	0.4771
South America	18,039.5	1518.3	27,388.6	770.3	13,896.0	0.5074
Oceania	8767.7	751.8	6591.5	345.1	3025.6	0.4590
Minimum		632.9		229.9		0.3449
Maximum		1518.3		770.3		0.5074

Liang, Greene, 2020

Описание гидрологического цикла суши в моделях Земной системы: актуальность и проблемы

Климатическая роль речного стока: перенос углерода и эмиссия углерода с
водной поверхности



Fluvial CO₂ emission varies between 112 and 209 Tg of carbon per month. Annual fluvial CO₂ emission to terrestrial gross primary production (GPP) ratio is highly variable across regions, ranging from negligible (<0.2%) to 18%. (Liu et al., 2022)

This highlights the importance of hydrology, in particular water throughput, in terrestrial–fluvial carbon transfers and the need to account for this effect in plumbing the terrestrial carbon budget.

Описание гидрологического цикла суши в моделях Земной системы: актуальность и проблемы



Water Resources Research

REVIEW ARTICLE

10.1002/2015WR017096

Special Section:

The 50th Anniversary of Water Resources Research

Improving the representation of hydrologic processes in Earth System Models

Martyn P. Clark¹, Ying Fan², David M. Lawrence¹, Jennifer C. Adam³, Diogo Bolster⁴, David J. Gochis¹, Richard P. Hooper⁵, Mukesh Kumar⁶, L. Ruby Leung⁷, D. Scott Mackay⁸, Reed M. Maxwell⁹, Chaopeng Shen¹⁰, Sean C. Swenson¹, and Xubin Zeng¹¹

Water Resources Research

COMMISSIONED MANUSCRIPT

10.1029/2018WR023903

Hillslope Hydrology in Global Change Research and Earth System Modeling

Y. Fan¹ , M. Clark² , D. M. Lawrence² , S. Swenson² , L. E. Band³, S. L. Brantley⁴ , P. D. Brooks⁵ , W. E. Dietrich⁶, A. Flores⁷ , G. Grant⁸ , J. W. Kirchner⁹ , D. S. Mackay¹⁰ , J. J. McDonnell¹¹, P. C. D. Milly¹² , P. L. Sullivan¹³ , C. Tague¹⁴ , H. Ajami¹⁵ , N. Chaney¹⁶ , A. Hartmann^{17,18}, P. Hazenberg¹⁹ , J. McNamara⁷ , J. Pelletier²⁰ ,



1,29

JAMES | Journal of Advances in Modeling Earth Systems

COMMISSIONED MANUSCRIPT

10.1029/2018MS001453

Perspectives on the Future of Land Surface Models and the Challenges of Representing Complex Terrestrial Systems

Rosie A. Fisher^{1,2} and Charles D. Koven³

¹Climate and Global Dynamics Division, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, USA, ²Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique, Toulouse, France, ³Climate and Ecosystem

Water Resources Research

RESEARCH ARTICLE

10.1029/2021WR031817

Key Points:

- All runoff estimates perform better in more humid regions and non-cold environments
- The multi-model ensemble is an effective way to reduce bias in individual models but exceptions exist

Global Evaluation of Runoff Simulation From Climate, Hydrological and Land Surface Models

Ying Hou¹ , Hui Guo¹, Yuting Yang¹ , and Wenbin Liu²

¹State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, ²Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

«The current rudimentary representation of hydrologic processes in ESM land models limits our capability to simulate land-atmosphere fluxes and biogeochemical cycles, which, in turn, limits our ability to predict land-atmosphere processes and feedbacks across multiple time and space scales» (Clark et al., 2015) .

A stronger collaboration is needed between the hydrology and ESM modeling community, both through greater engagement of hydrologists in ESM land model development, and through rigorous evaluation of ESM hydrology performance in research watersheds

Постановка задачи моделирования гидрологических процессов суши как задачи математической физики (1970-е)

Journal of Hydrology 9 (1969) 237-258; © North-Holland Publishing Co., Amsterdam

Not to be reproduced by photoprint or microfilm without written permission from the publisher

BLUEPRINT FOR A PHYSICALLY-BASED, DIGITALLY-SIMULATED HYDROLOGIC RESPONSE MODEL

R. ALLAN FREEZE

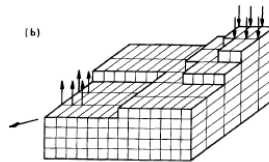
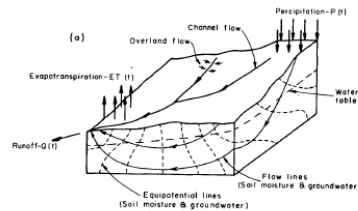
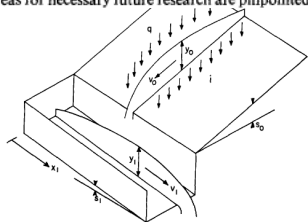
*Inland Waters Branch, Department of Energy, Mines and Resources,
Calgary, Alberta, Canada*

and

R. L. HARLAN

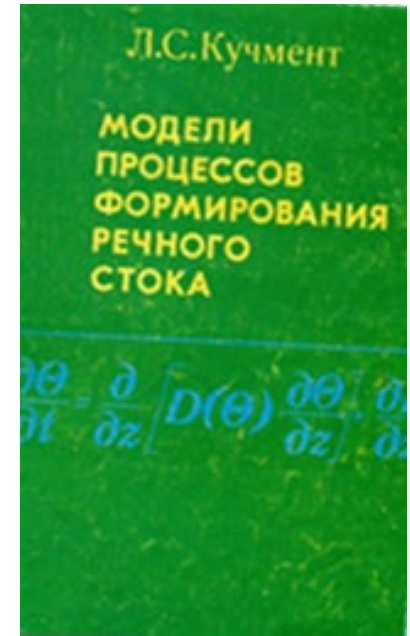
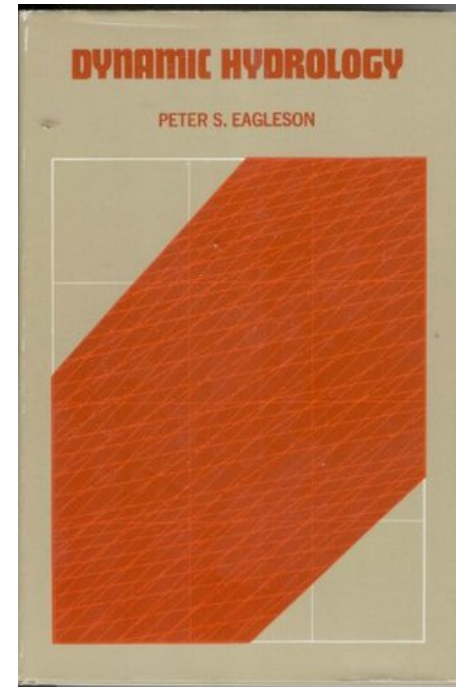
Forestry Branch, Department of Fisheries and Forestry, Calgary, Alberta, Canada

Abstract: In recent years hydrologists have subjected the various subsystems of the hydrologic cycle to intensive study, designed to discover the mechanisms of flow and to arrive at physical and mathematical descriptions of the flow processes. As a consequence, meaningful results are now available in the form of numerical solutions to mathematical boundary value problems for groundwater flow, unsaturated porous media flow, overland flow, and channel flow. These developments in physical hydrology, together with the tremendous advance in digital computer technology, should provide the impetus for a necessary redirection of research in hydrologic simulation. The development of physically-based hydrologic response sophistication that can be achieved with presently available areas for necessary future research are pinpointed.



$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\rho K(x, y, z) \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\rho K(x, y, z) \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\rho K(x, y, z) \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right] = \rho \frac{\partial \theta}{\partial t} + \theta \frac{\partial \rho}{\partial t}$$

$$\left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \right) + 2\rho g \beta \left[\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)^2 - \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right] = \frac{\rho g}{k} [(1 - \theta) \alpha + \theta \beta] \frac{\partial \varphi}{\partial t}$$



Монин А.С. Гидродинамические уравнения гидрологии суши. ДАН СССР, 1979

Развитие системы физико-математических гидрологических моделей в ИВП АН СССР в 1980-1990-е

Water and heat transfer in snowpack

$$\frac{\partial \theta_s}{\partial t} + \frac{\rho_i}{\rho_w} \frac{\partial I_s}{\partial t} = \frac{\partial K_s}{\partial z} \quad C_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = \lambda_s \frac{\partial^2 T_s}{\partial z^2} + \chi \rho_i \frac{\partial I_s}{\partial t}$$

Water and heat transfer in seasonally frozen soil

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\rho_i}{\rho_w} \frac{\partial I}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial \theta}{\partial z} + D_I \frac{\partial I}{\partial z} - K \right)$$

$$c_T \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \rho_w c_w \left(D \frac{\partial \theta}{\partial z} + D_I \frac{\partial I}{\partial z} - K \right) \frac{\partial T}{\partial z} + \rho_w \chi \frac{\partial W}{\partial t}$$

Evapotranspiration and unfrozen soil moisture dynamics

$$E_f = \rho_a \cdot \frac{q^*(T_f) - q_f}{r_a + r_s} \cdot LAI \quad \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} [D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} - K(\theta)] - S(\theta, z)$$

$$E_g = \rho_a \cdot \frac{r \cdot q^*(T_g) - q_{af}}{r_{ag}}$$

Channel flow

Overland flow

Subsurface flow

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + v \frac{\partial \omega}{\partial x} + \omega \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad \frac{\partial(hB)}{\partial t} + \frac{\partial(qB)}{\partial x} = q_c$$

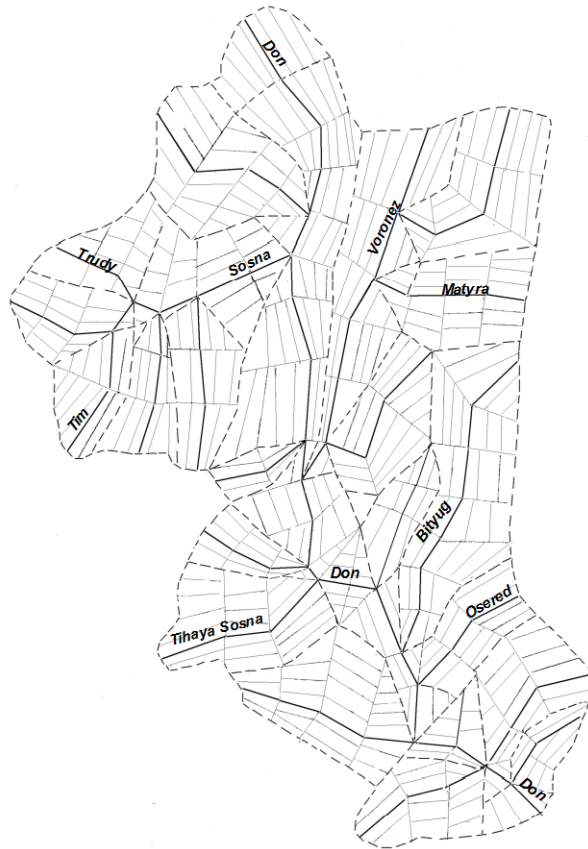
$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{g}{\omega} \frac{\partial(h\omega)}{\partial x} + \frac{vq}{\omega} = g(i - I_f) \quad q = i^{0.5} h^{1.67} B n^{-1}$$

$$(\theta_m - \theta_f) \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = G$$

$$q = K(H) i_0 h$$

$$K = K_0 \exp(-\phi H)$$

Finite-element discretization of a catchment area



Развитие системы физико-математических гидрологических моделей в ИВП АН в 1980-1990-е

Process	Model Options	Numerical Solution	References
Channel Flow	1D Saint-Venant eq. 1D advection-diffusion eq. 1D kinematic wave eq.	Finite-element Finite-difference Finite-difference	Kantorovich and Kuchment (1981) Kuchment et al. (1986)
Overland Flow	2D shallow water eq. 2D kinematic wave eq. 1D kinematic wave eq.	Finite-element Finite-difference Finite-element	Demidov and Kuchment (1975) Kuchment and Trubikhin (1978) Demidov (1973)
Subsurface Flow	1D kinematic wave eq.	Finite-difference	Smakhtin (1988)
Groundwater Flow	2D Boussinesq's eq.	Finite-difference	Kuchment et al. (1990)
Snow Accumulation and Melt	Coupled eqs. of heat and moisture transfer in snow	Finite-difference	Motovilov (1986)
Evapotranspiration	Coupled eqs. of heat and moisture transfer in SVAT	Finite-difference	Motovilov and Startseva (1985)
Unsaturated zone flow (unfrozen soil)	Richards eq.	Finite-difference	Motovilov and Startseva (1985)
Unsaturated zone flow (frozen soil)	Coupled eqs. of heat and moisture transfer in frozen soil	Finite-difference	Motovilov (1977)
Seasonal soil freezing and thawing	Non-linear Stephan problem	Finite-difference	Gelfan (1989)

HYDROLOGICAL SCIENCES JOURNAL
2024, VOL. 69, NO. 16, 2322–2336
<https://doi.org/10.1080/10265667.2024.2413013>


Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

SPECIAL ISSUE: HISTORY OF HYDROLOGY

[Check for updates](#)

Development of runoff generation models in the former USSR and Russia: a historical overview
Lev Kuchment^a and Alexander Gelfan^{a,b}
^aWater Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; ^bFaculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

ABSTRACT
The paper presents a historical overview of the development of hydrological models in the former USSR and Russia since the 1930s. An overwhelming number of hydrological papers were published in Russian, and they are not sufficiently well known to the world hydrological community. The purpose of the review is to fill the gap and present the main achievements, some of which were pioneering for their time. The period under consideration is divided into three sub-periods. Pre-computer, the 1930–1950s were associated, first of all, with the development of models of unsteady water flow in river channels and linear flood-routing models; in the 1960–1980s, many theoretical and practical foundations for modelling the processes of the hydrological cycle and the formation of river runoff were developed; and in the Russian era, following 1991, several notable advancements in the considered field were also made.

ARTICLE HISTORY
Received 31 March 2024
Accepted 12 September 2024

EDITOR
S. Archfield

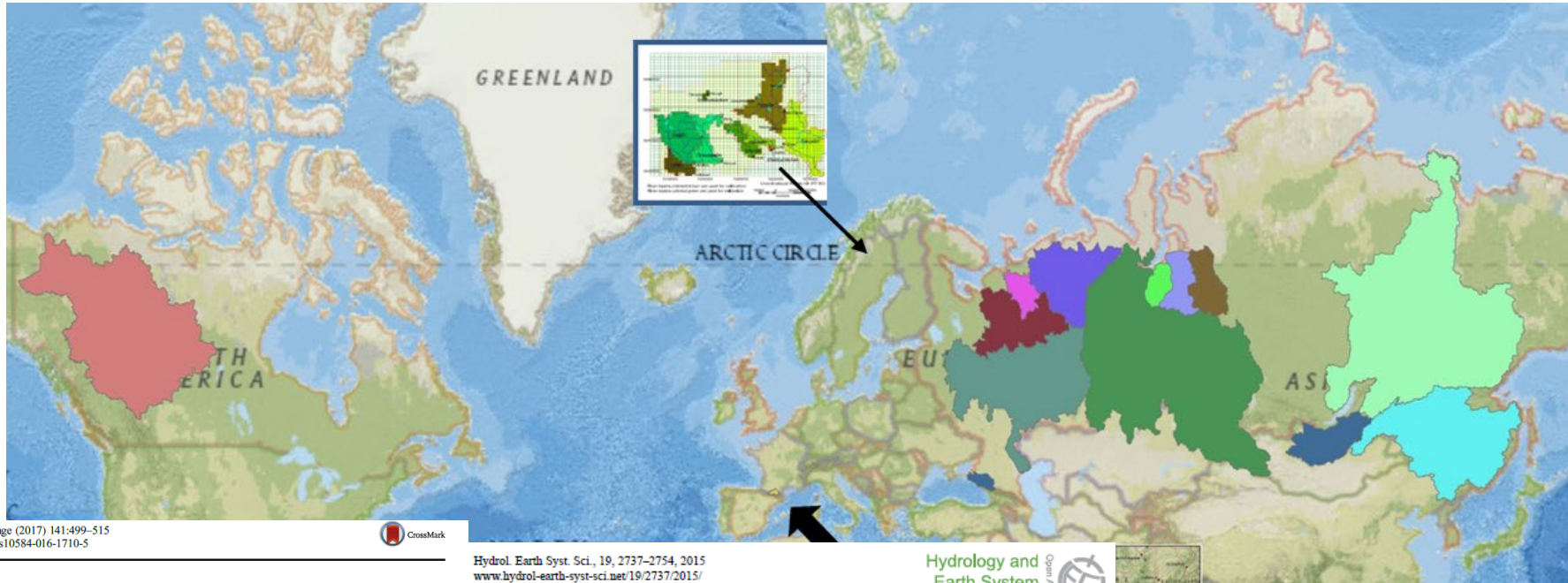
GUEST EDITOR
K. Beven

KEYWORDS
mathematical models;
hydrological processes; river
runoff formation;
Soviet-Russian hydrologists

In the mid-1980s, the first in the former USSR physically-based distributed modelling system was developed in the WPI RAS. In the table, the examples of equations that were used to reproduce the processes of river flow generation are presented. Some ideas and models were new for that time, for example, the finite-element schematization of a catchment area, models of snowpack, seasonal soil freezing and some others.

Kuchment, Gelfan, 2024

Some climate change impact studies



Climatic Change (2017) 141:499–515
DOI 10.1007/s10584-016-1710-5



Climate change impact on the water regime of two great Arctic rivers: modeling and uncertainty issues

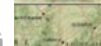
Alexander Gelfan^{1,2} · David Gustafsson³ ·
Yury Motovilov^{1,2} · Berit Arheimer³ ·
Andrey Kalugin^{1,2} · Inna Krylenko^{1,4}

Climatic Change (2020) 163:1165–1185
<https://doi.org/10.1007/s10584-020-02930-z>

Hydrol. Earth Syst. Sci., 19, 2737–2754, 2015
www.hydrol-earth-syst-sci.net/19/2737/2015/
doi:10.5194/hess-19-2737-2015
© Author(s) 2015. CC Attribution 3.0 License.



Hydrology and
Earth System
Sciences



Hydrological Sciences Journal

ISSN: 0262-6667 (Print) 2150-3435 (Online) Journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/thsg20>



Large-basin hydrological response to climate model outputs: uncertainty caused by internal atmospheric variability

A. Gelfan^{1,3}, V. A. Semenov^{2,3,4,6}, E. Gusev^{1,3}, Y. Motovilov^{1,3}, O. Nasonova^{1,3}, I. Krylenko^{1,3}, and E. Kovalev¹

13304, 0262-6667 (Print) 2150-3435 (Online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/thsg20>



How the performance of hydrological models relates to credibility of projections under climate change

Valentina Krysanova, Chantal Donnelly, Alexander Gelfan, Dieter Gerten, Berit Arheimer, Fred Hattermann & Zbigniew W. Kundzewicz

Cold and Mountain Region Hydrological Systems Under Climate Change: Towards Improved Projections
Proceedings of H02, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly, Gothenburg, Sweden, July 2013 (IAHS Publ. 360, 2013).

105

Assessing runoff sensitivity to climate change in the Arctic basin: empirical and modelling approaches

YU. G. MOTOVILOV & A. N. GELFAN

Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, 3 Gubkina Str., 119333, Moscow Russia
hydrowpi@aquas.laser.ru

Testing the robustness of the physically-based ECOMAG model with respect to changing conditions

A. Gelfan, Yu Motovilov, I. Krylenko, V. Moreido & E. Zakharova

Climatic Change (2023) 176:122
<https://doi.org/10.1007/s10584-023-03557-6>

Detection, attribution, and specifying mechanisms of hydrological changes in geographically different river basins

Alexander Gelfan^{1,2} · Andrey Kalugin¹ · Inna Krylenko^{1,2}

Received: 6 December 2022 / Accepted: 2 June 2023
© The Author(s) 2023



Does a successful comprehensive evaluation increase confidence in a hydrological model intended for climate impact assessment?

Alexander Gelfan, et al. [full author details at the end of the article]

© Author(s) 2015. CC Attribution 3.0 License.



Climate noise effect on uncertainty of hydrological extremes: numerical experiments with hydrological and climate models

A. N. Gelfan^{1,4}, V. A. Semenov^{2,3,4}, and Yu. G. Motovilov^{1,4}
¹Water Problems Institute of RAS, Moscow, Russia

Совершенствование описания гидрологических процессов в моделях деятельного слоя суши

1. Развитие моделей отдельных гидрологических процессов

- 1.1 Вертикальный тепло-влажноперенос в мерзлой почве с учетом влияния льда и переохлажденной влаги.
- 1.2 Формирования снежного покрова и снеготаяния под пологом леса
- 1.3 Гидротермический режим сезонно талого слоя в зоне многолетней мерзлоты
- 1.4 Тепловлагообмен почвы с атмосферой под пологом леса
- 1.5 Формирование ледникового стока с учетом орографической составляющей осадков в горных районах.

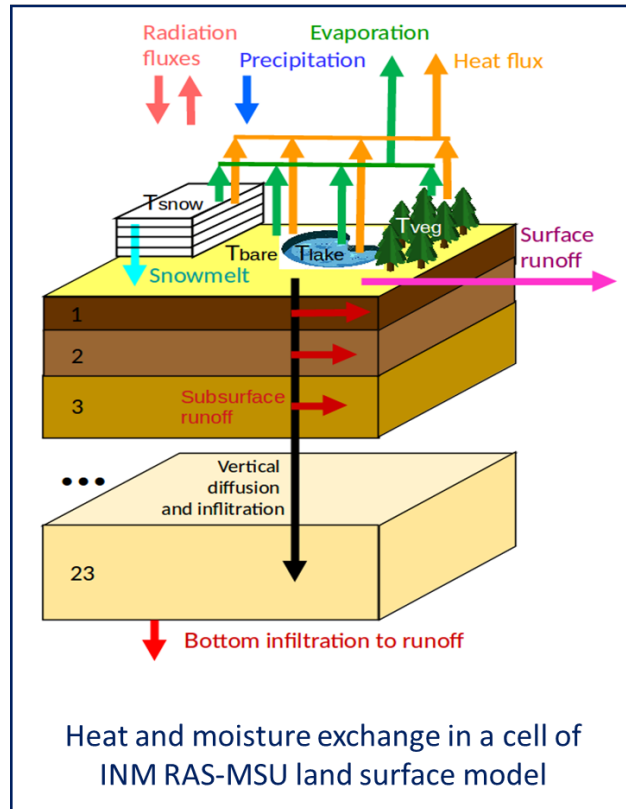
2. Развитие методов параметризации пространственной изменчивости гидрологических процессов

- 2.1 Детализация пространственного разрешения характеристик подстилающей поверхности
- 2.2 Подсеточная изменчивость запасов воды в снежном покрове.
- 2.3 Подсеточная изменчивость впитывающей способности почвогрунтов.
- 2.4 Переход к «природоподобным» расчетным сеткам на основе гидрологической концепции элементарных репрезентативных водосборов

3. Развитие методов оценки параметров и тестирования модели

- 3.1 Задание гидрофизических параметров незамерзшей и мерзлой почвы по почвенно-гидрологическим константам
- 3.2 Методы верификации модели по данным наблюдений за речным стоком и другими гидрологическими характеристиками (в т.ч. по данным наблюдений на экспериментальных водосборах).

Модель деятельного слоя суши ИВМ РАН-МГУ (TerM)



INM RAS-MSU land surface scheme

Climate model of Institute of Numerical Mathematics (INMCM)

Global numerical weather prediction SL-AV model

- ☐ Heat, moisture, water vapor and ice dynamics in soil (23 layers)
- ☐ Snow cover with liquid water treatment (4 layers)
- ☐ Transpiration and photosynthesis by vegetation
- ☐ Wetland CH₄ model
- ☐ LAKE model
- ☐ River routing scheme
- ☐ Standalone version resolution is 0.5 x 0.5 deg.
- ☐ GLCC global land cover data



Модель ДСС TerM обладает рядом преимуществ перед многими ведущими моделями этого класса, в частности, имеет высокое вертикальное разрешение, включает уникальные модели биогеохимии внутренних водоёмов (Stepanenko et al., 2016) и термогидродинамики речной сети (Степаненко и др., 2019). Модель реализована для многоядерных вычислительных систем с использованием гибридной технологии MPI+OpenMP, что позволяет проводить массовые расчёты на суперкомпьютерах. **Несмотря на существенный прогресс, достигнутый в последние годы, задача развития гидрологических блоков модели ДСС остается актуальной**

Совершенствование описания гидрологических процессов в модели TerM

1. Развитие моделей отдельных гидрологических процессов

- 1.1 Вертикальный тепло-влажноперенос в мерзлой почве с учетом влияния льда и переохлажденной влаги.
- 1.2 Формирования снежного покрова и снеготаяния под пологом леса
- 1.3 Гидротермический режим сезонно талого слоя в зоне многолетней мерзлоты
- 1.4 Тепловлагообмен почвы с атмосферой под пологом леса
- 1.5 Формирование ледникового стока с учетом орографической составляющей осадков в горных районах.

2. Развитие методов параметризации пространственной изменчивости гидрологических процессов

- 2.1 Детализация пространственного разрешения характеристик подстилающей поверхности
- 2.2 Подсеточная изменчивость запасов воды в снежном покрове.
- 2.3 Подсеточная изменчивость впитывающей способности почвогрунтов.
- 2.4 Переход к «природоподобным» расчетным сеткам на основе гидрологической концепции элементарных репрезентативных водосборов

3. Развитие методов оценки параметров и тестирования модели

- 3.1 Задание гидрофизических параметров незамерзшей и мерзлой почвы по почвенно-гидрологическим константам
- 3.2 Методы верификации модели по данным наблюдений за речным стоком и другими гидрологическими характеристиками (в т.ч. по данным наблюдений на экспериментальных водосборах).

Возможности совершенствования модели ДСС

1. Развитие моделей отдельных гидрологических процессов: примеры

Моделирование вертикального тепло- влагопереноса в мерзлой почве

$$\rho_w \frac{\partial W}{\partial t} = - \frac{\partial (q_w + \cancel{q_v})}{\partial z}$$

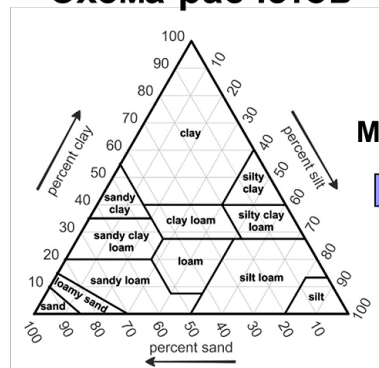
$$W = \theta + \frac{\rho_i}{\rho_w} I + \cancel{\frac{\rho_v}{\rho_w} v}$$

$$c_{eff} \frac{\partial T}{\partial t} = - \frac{\partial q_T}{\partial z} - \left(c_w q_w \frac{\partial T}{\partial z} + \cancel{c_v q_v \frac{\partial T}{\partial z}} \right) + \cancel{L_v \Phi_v \theta} + \rho_i L_i \frac{\partial I}{\partial t}$$

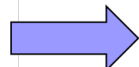
1. Численные (Кучмент и др., 1983) и лабораторные (Калюжный, Павлова, 1981)

эксперименты, теоретические оценки показали, что **влиянием переноса водяного пара на гидротермический режим мерзлых почвогрунтов можно пренебречь** (влияние заметно лишь при очень низких влажностях и температурах)

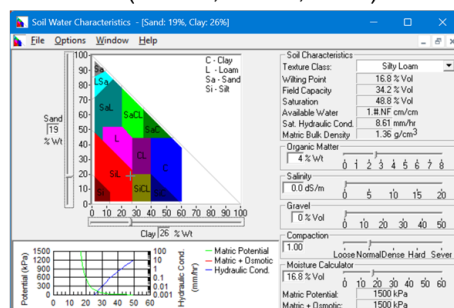
Схема расчетов



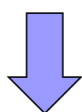
Мех.состав



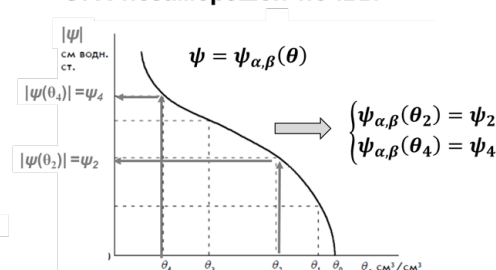
PDFs (Saxton, Rawls, 2006)



Почвенно-гидрологические константы (НВ, ВЗ...)



ОГХ незамерзшей почвы

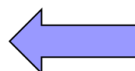


ОГХ мерзлой почвы

$$\psi_f = \psi_f(\theta, T);$$

Содержание незамерзшей влаги

$$\theta = \theta(T)$$



2. Оценки потоков тепла и влаги наиболее чувствительны к способу задания гидрофизических параметров мерзлой почвы. Ключевую роль играет метод их параметризации с учетом содержания льда и переохлажденной влаги (Мотовилов, 1977; Gelfan 2006, 2008)

Возможности совершенствования модели ДСС

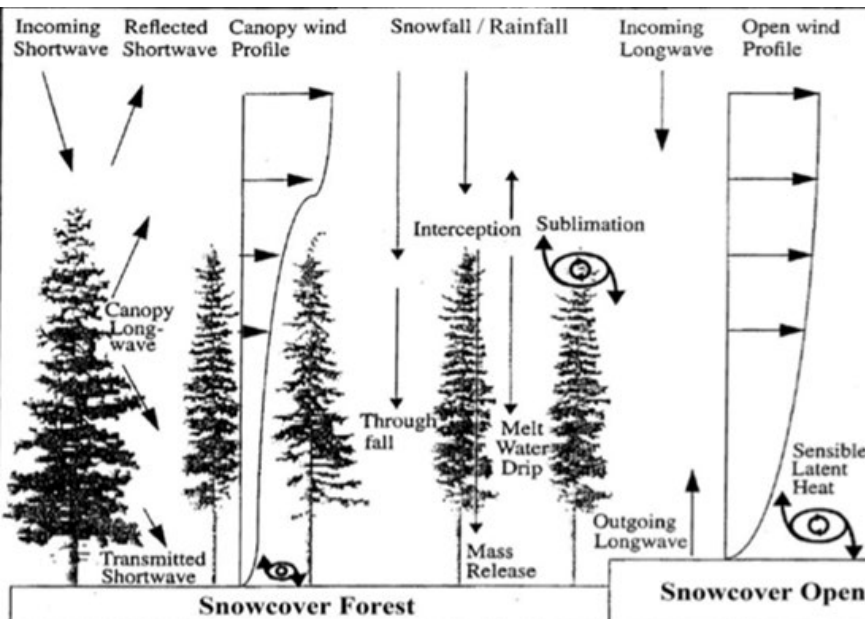
1. Развитие моделей отдельных гидрологических процессов: примеры

Моделирование формирования снежного покрова на открытой местности и под пологом леса

$$\rho_{\pi} \frac{\partial T}{\partial t} + (1 - \mathcal{I}) \rho'_{\pi} \frac{\partial T}{\partial t} = D_c \rho'_{\pi} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + (D_c \rho'_{\pi})' \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2,$$
$$[c_{\text{эф}} + (1 - \mathcal{I}) \rho'_{\pi} L_3] \frac{\partial T}{\partial t} = (\lambda_c + L_3 D_c \rho'_{\pi}) \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + [c_{\pi} D_c \rho'_{\pi} + L_3 (D_c \rho'_{\pi})'] \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 + \lambda'_c \frac{\partial \rho_c}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial z} - \left(\frac{\partial I_R}{\partial z} \right).$$

1. В гидрологических моделях, как правило, предполагается, что процессы термической диффузии водяного пара в сухом снеге не оказывают заметного влияния на изменение его гидро- и теплофизических свойств по сравнению с процессами его уплотнения (Motovilov, 1985). **Эта гипотеза требует дополнительной проверки для модели ДСС**

2. Существенное влияние на процессы накопления снега под пологом леса оказывает задержание твердых осадков, процессы возгонки и таяния снега на кронах деревьев (еловый лес задерживает до 60% осадков). Перспективный путь развития модели ДСС – **введение новых способов параметризации задержания с учетом измеряемых параметров растительности** (Hedstrem, Pomeroy, 1998; Gelfan et al., 2008)



3. Оценки снеготаяния под пологом леса наиболее чувствительны к способам параметризации радиационного баланса на поверхности снежного покрова (особенно баланса длинноволновой радиации). Перспективный путь развития модели – **введение новых способов параметризации радиационных потоков с учетом измеряемых параметров растительности**

Возможности совершенствования модели ДСС

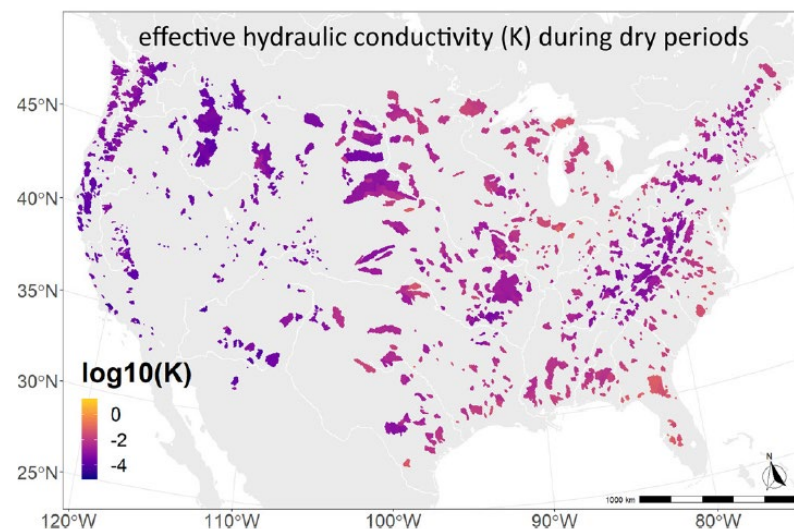
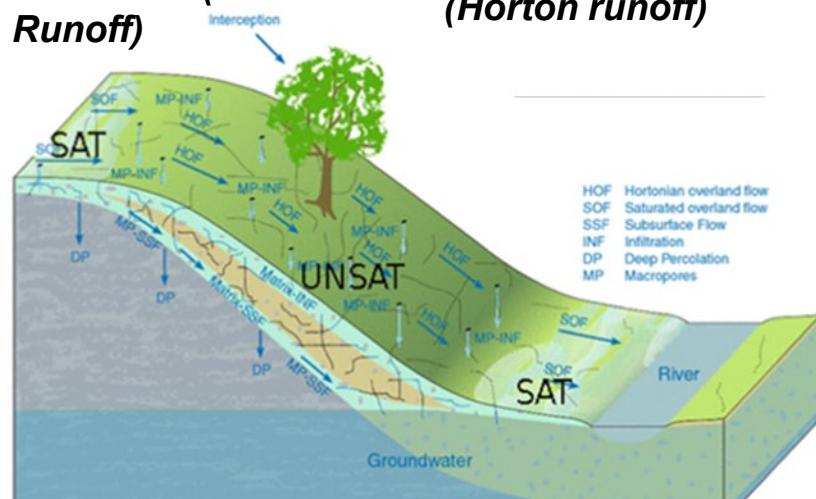
2. Совершенствование методов описания подсеточной изменчивости характеристик подстилающей поверхности (изменчивость влагопроводности почвы в зоне аэрации)

Формирование поверхностного стока в известных моделях ДСС

$$q_s = P_x F_{sat} + (1 - F_{sat}) \max(0, P_x - i_{max})$$

Емкостной механизм (Dunne Runoff)

Инфильтрационный механизм (Horton runoff)



Усредненная по площади ячейки впитывающая способность почвы i_{max} , для подавляющего большинства типов почв, намного больше интенсивности осадков P_x .

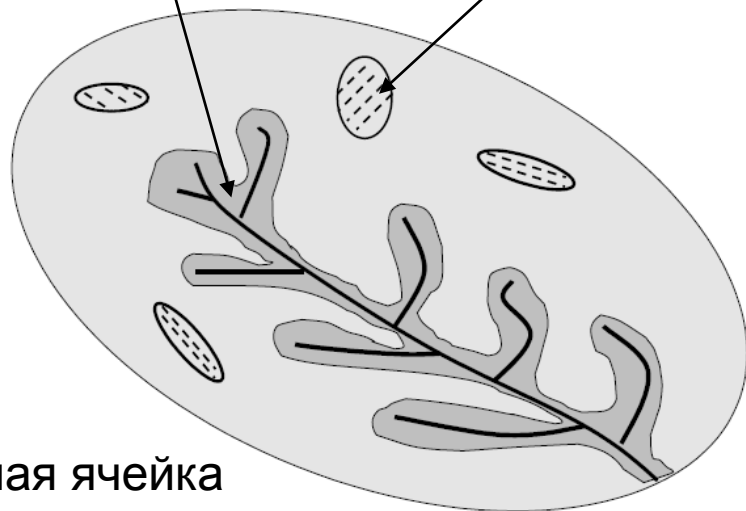
То есть, при задании гидравлической проводимости почвы без учета ее подсеточной неоднородности инфильтрационный склоновый сток в модели ДСС будет равен нулю

Коэффициент фильтрации, усредненный по площадям водосборов на территории США (ср. значение 136 см/сут) Tashie et al., 2021

Возможности совершенствования модели ДСС

2. Совершенствование методов описания подсеточной изменчивости характеристик подстилающей поверхности (изменчивость влагопроводности почвы в зоне аэрации)

$$q_s = P_x F_{sat} + (1 - F_{sat}) \max(0, P_x - i_{max})$$

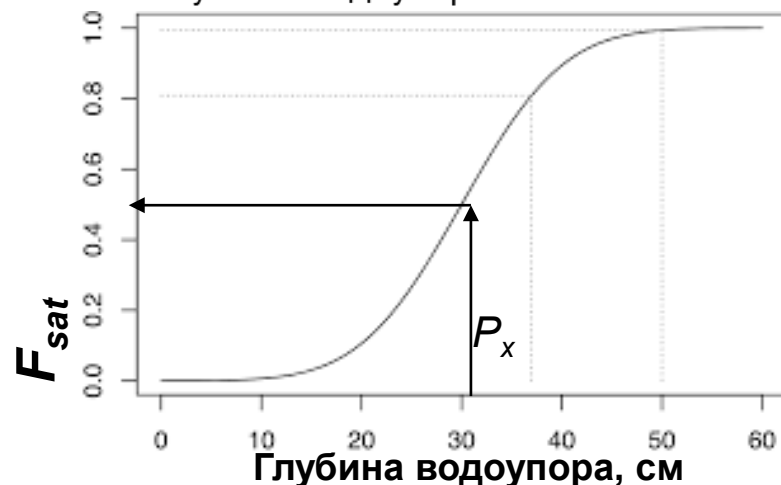


Расчетная ячейка

Переменная доля насыщенной почвы

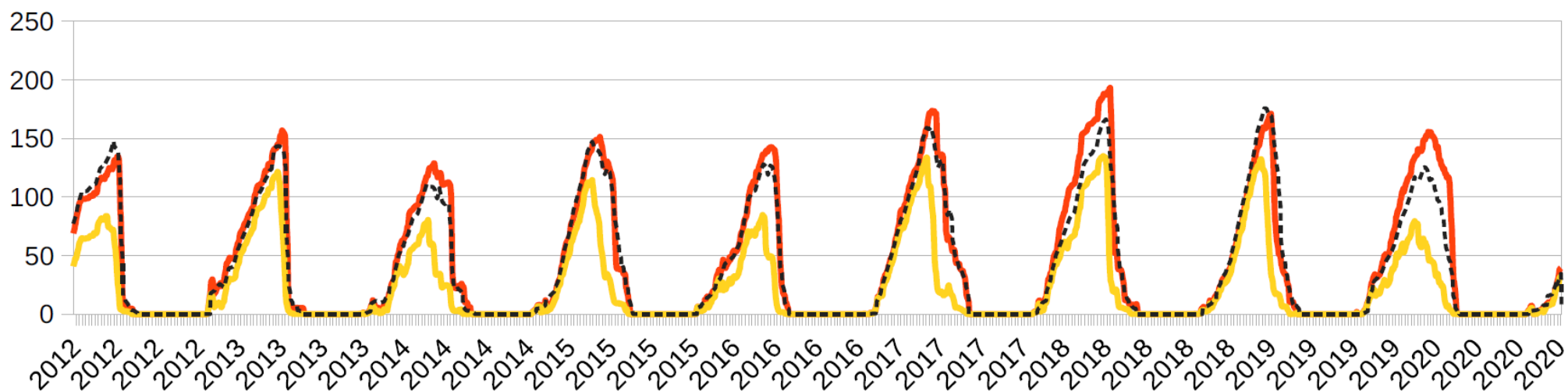
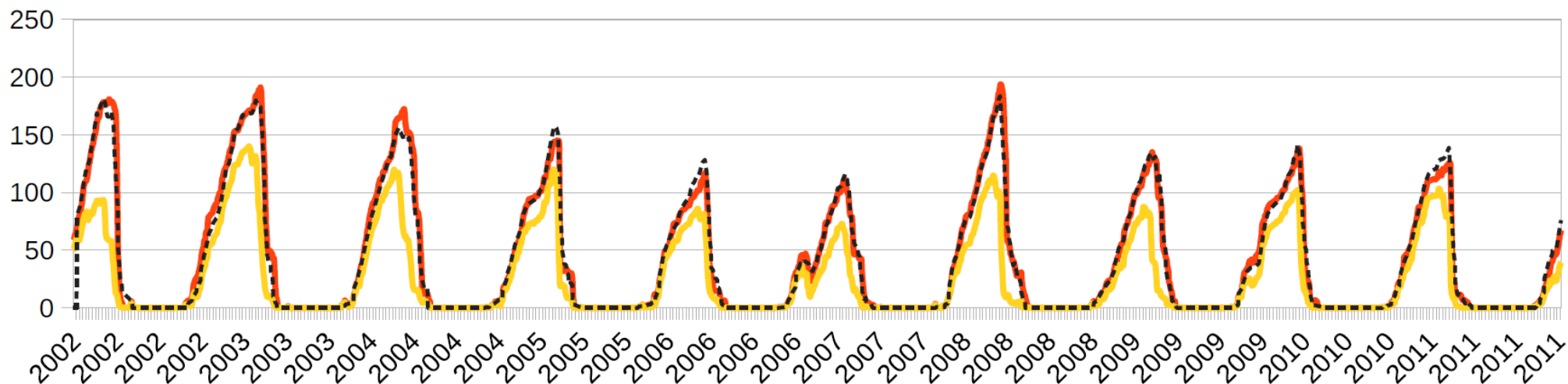
$$F_{sat} = F_{sat}(P_x) = \int_0^{P_x} f(x) dx$$

$f(x)$ - функция плотности распределения глубины водоупора



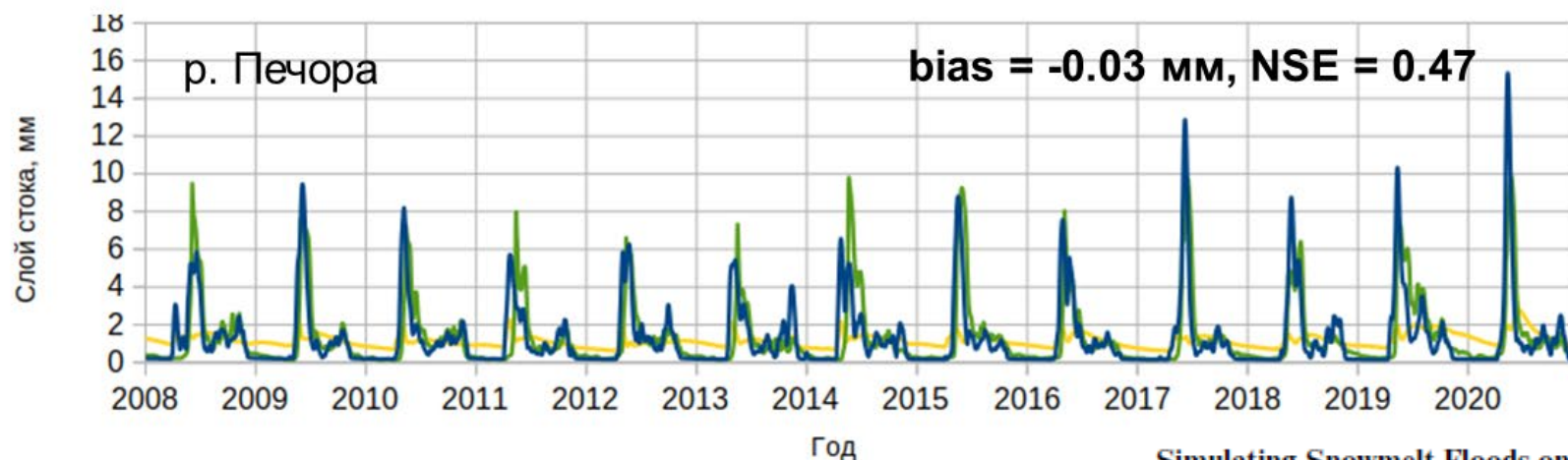
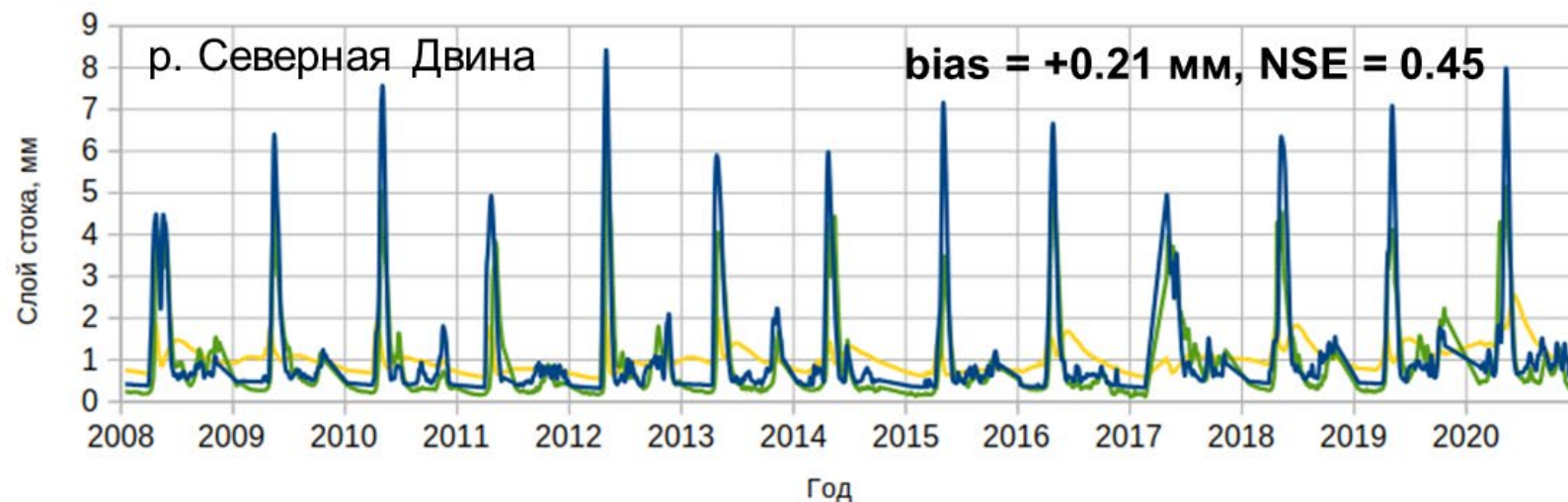
По той же схеме рассчитывается переменная площадь, на которой формируется инфильтрационный сток (по распределению вероятности коэффициента фильтрации)

Результаты совершенствования параметризаций гидрологических процессов в модели TerM (многолетние изменения запасов воды в снежном покрове)



Результаты совершенствования параметризаций гидрологических процессов в модели TerM (многолетние изменения ср.месячного речного стока)

Суточный слой стока, мм, 2008-2020

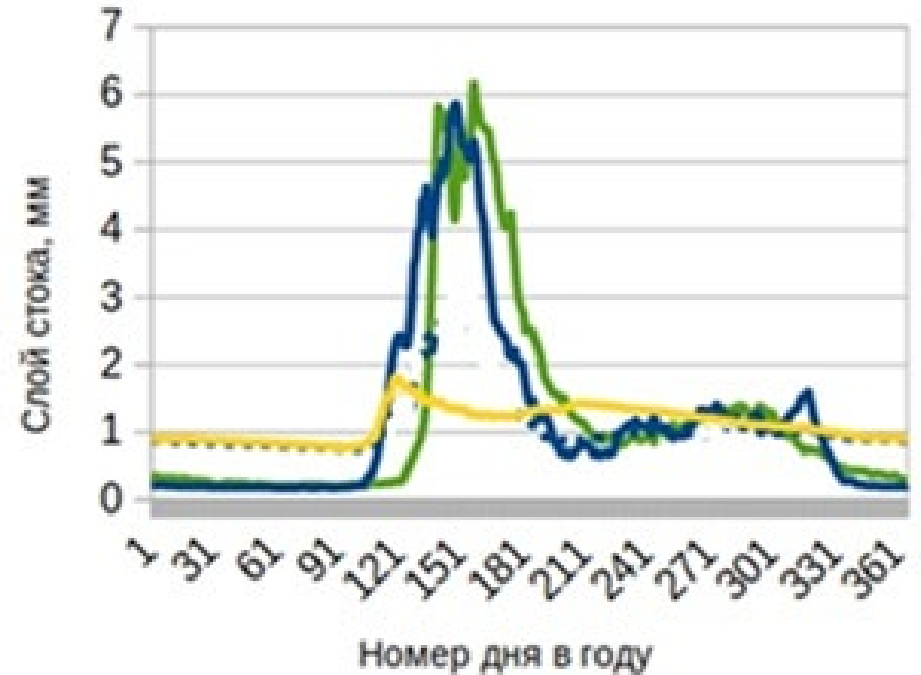
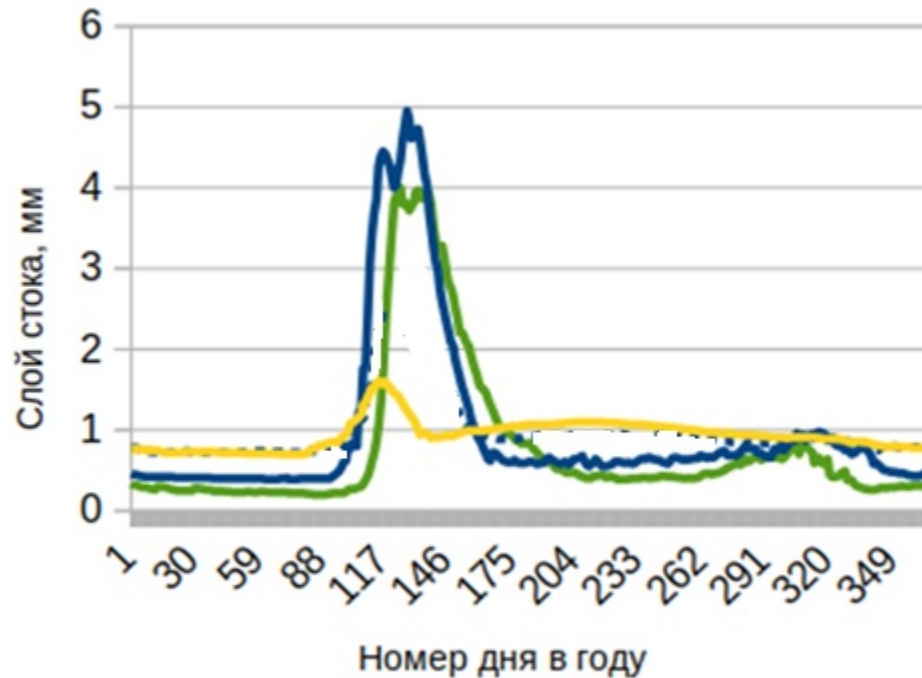


— TerM, с модификациями
— наблюдения
— TerM, исходная

Simulating Snowmelt Floods on the Rivers of the Northern Part of the East European Plain by the TerM Land Surface Model

A. I. Medvedev^{a, k, *}, V. M. Stepanenko^{a, k, c, d}, A. N. Gelfan^{k, c}, and V. Yu. Bogomolov^{a, f}

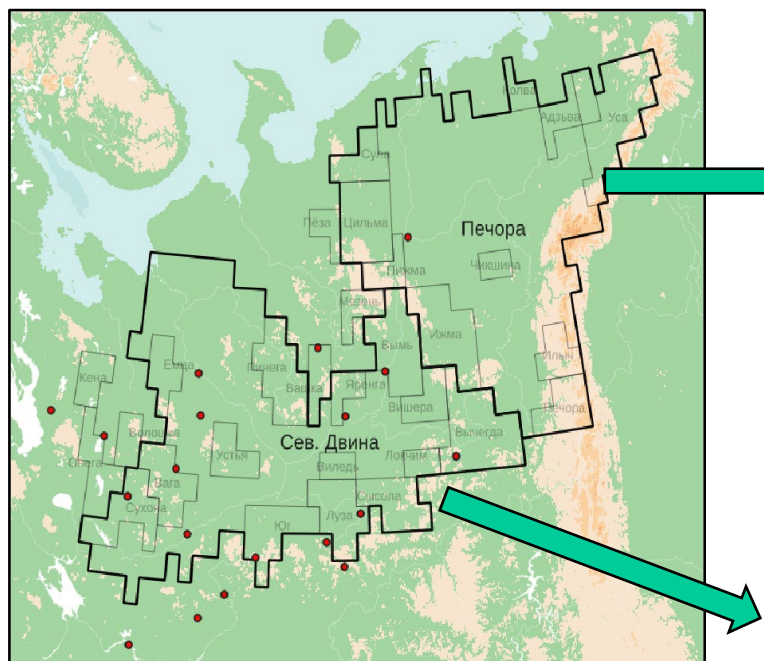
Результаты совершенствования параметризаций гидрологических процессов в модели TerM (климатические гидрографы)



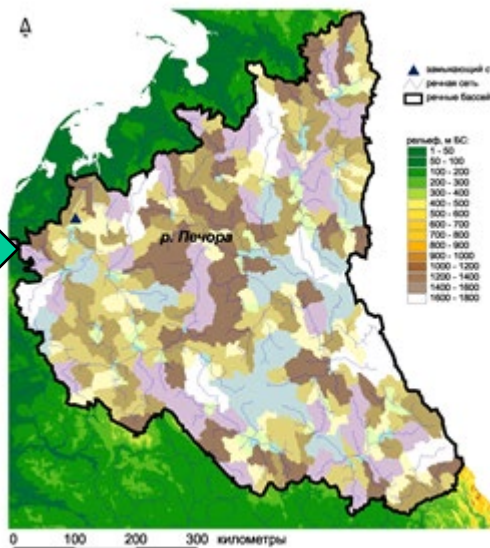
— наблюдения
— TerM, с модификациями
— TerM, исходная

Возможности совершенствования модели ДСС

3. *Переход от регулярной широтно-долготной сетки к схематизации элементарными водосборами, широко используемой в гидрологическом моделировании.*



Схематизация водосбора и речной сети на регулярной сетке модели ДСС



Model Dev., 7, 947–963, 2014
doi:10.5194/gmd-7-947-2014
© Author(s) 2014. CC Attribution 3.0 License.

Geoscientific
Model Development
Open Access

basin-based framework to represent land surface processes in
an earth system model

Jia¹, H.-Y. Li¹, L. R. Leung¹, M. Huang¹, Y. Ke², Y. Sun³, and Y. Liu¹

Geosci. Model Dev., 10, 873–888, 2017
www.geosci-model-dev.net/10/873/2017/
doi:10.5194/gmd-10-873-2017
© Author(s) 2017. CC Attribution 3.0 License.

Geoscientific
Model Development
Open Access

Exploring new topography-based subgrid spatial structures for
improving land surface modeling

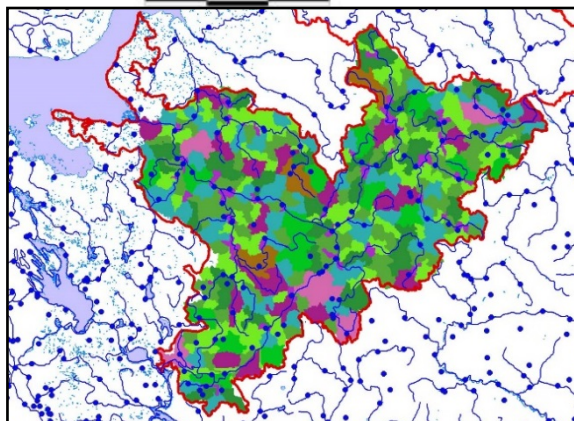
Teklu K. Tesfa and Lai-Yung Ruby Leung

Geosci. Model Dev., 10, 3297–3308, 2017
https://doi.org/10.5194/gmd-10-3297-2017
© Author(s) 2017. This work is distributed under
the Creative Commons Attribution 3.0 License.

Geoscientific
Model Development
Open Access

Development and performance of a new version of the OASIS
coupler, OASIS3-MCT_3.0

Anthony Craig, Sophie Valcke, and Laure Coquart



It has been argued (Fan et al., 2015, 2019; Subin et al., 2014; Swenson et al., 2019) that landscapes might be tiled according to “hydrological response units” (HRU) which attempt to capture the dynamics of lateral water drainage, and thus the nonlinear impacts on hydrological and ecological processes downstream from the simulated topographic convergence of moisture. Such schemes define HRUs in terms of fractions of a grid cell, and thus can represent bulk properties of hydrological variation without increasing

Возможности совершенствования модели ДСС

5. Совершенствование методов задания параметров и проверки моделей

Hydrological Sciences - Journal des Sciences Hydrologiques, 31, 1, 57-1986

Иерархическая схема тестирования модели

		Стационарные УСЛОВИЯ	Нестационарные УСЛОВИЯ
Данные наблюдений имеются	Split-sample test		Differential split-sample test
	Proxy-basin test		Proxy-basin differential split-sample test
Данные наблюдений отсутствуют	Proxy-basin test		Proxy-basin differential split-sample test
	Proxy-basin test		Proxy-basin differential split-sample test

Operational testing of hydrological simulation models

V. KLEMEŠ
National Hydrology Research Institute,
Environment Canada, Ottawa, Ontario, Canada
K1A 0E7

Climatic Change (2020) 163:1165–1185
<https://doi.org/10.1007/s10584-020-02930-z>



Does a successful comprehensive evaluation increase confidence in a hydrological model intended for climate impact assessment?

Alexander Gelfan, et al. [full author details at the end of the article]

Testing the robustness of the physically-based ECOMAG model with respect to changing conditions

A. Gelfan, Yu Motovilov, I. Krylenko, V. Moreido & E. Zakharova

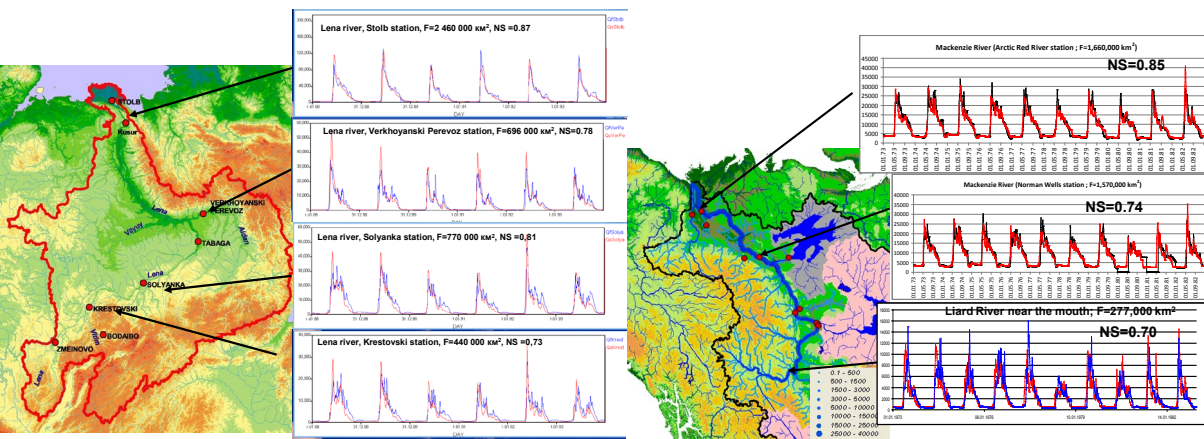
How the performance of hydrological models relates to credibility of projections under climate change

Valentina Krysanova, Chantal Donnelly, Alexander Gelfan, Dieter Gerten, Berit Arheimer, Fred Hattermann & Zbigniew W. Kundzewicz

ISSN 0097-0706, Water Resources, 2016, Vol. 45, Suppl. 1, pp. 570–52 01. © Elsevier Publishing Ltd., 2016

Validation of a Hydrological Model Intended for Impact Study:
Problem Statement and Solution Example for Selenga River Basin

A. N. Gelfan and T. D. Millionchikova *



Заключительные комментарии

Перспективы развития моделей деятельного слоя суши связаны, в определенной степени, с усвоением достижений в области гидрологического моделирования. **Скоординированные усилия специалистов в области моделирования Земной системы и гидрологии суши могут расширить возможности прогнозирования цикла энергии, углерода и питательных веществ, учитывая фундаментальную роль гидрологических процессов в регулировании этих циклов.**

Учет тех или иных гидрологических параметризаций – нетривиальная проблема, поскольку в силу различий решаемых задач, определяющих структуру моделей, значимость и детальность описания отдельных процессов, **гидрологические модели и модели деятельного слоя суши существенно различаются требованиями к исходной информации, к ее пространственно-временному разрешению, подходами к заданию параметров, методами верификации моделей и др.**

Спасибо за внимание

«Development, evaluation, verification, and use of these [coupled ocean-atmosphere-landsurface] models requires the active participation of hydrologists along with a wide range of other earth scientists» [Eagleson, 1978, page 6S]. . .

«He who controls the future of global-scale models controls the direction of hydrology» [Eagleson, 1986, page 13S].

Расчет средней по площади водосбора интенсивности снеготаяния с учетом неравномерности залегания снега («приведенная интенсивность снеготаяния»)

Приведенный слой стаявшей воды определяется с учетом покрытости территории снегом

$$S_{adj}(t) = S(t) \times SCA(t)$$

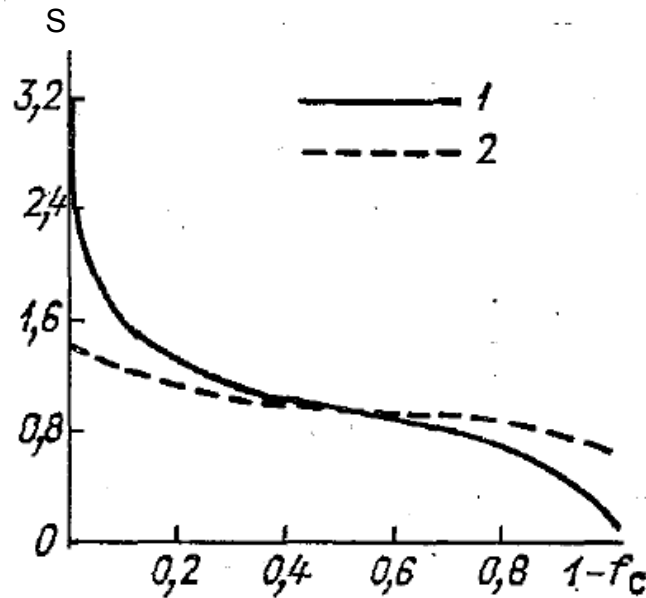
$$SCA(t) = 1 - \int_0^{\sum_0^t S(t)} f(x) dx$$

Накопленный слой таяния на момент времени t

$f(x)$ – плотность распределения вероятности снегозапаса перед началом снеготаяния

Расчет средней по площади водосбора интенсивности снеготаяния с учетом пространственной изменчивости снежного покрова («приведенная интенсивность снеготаяния»)

«Типовая» кривая распределения запаса воды в снежном покрове для
равнинного водосбора



$$F(S) = \int_0^S \frac{\alpha^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} \exp(-\alpha x) dx$$

$$S = SWE / SWE_{cp}$$

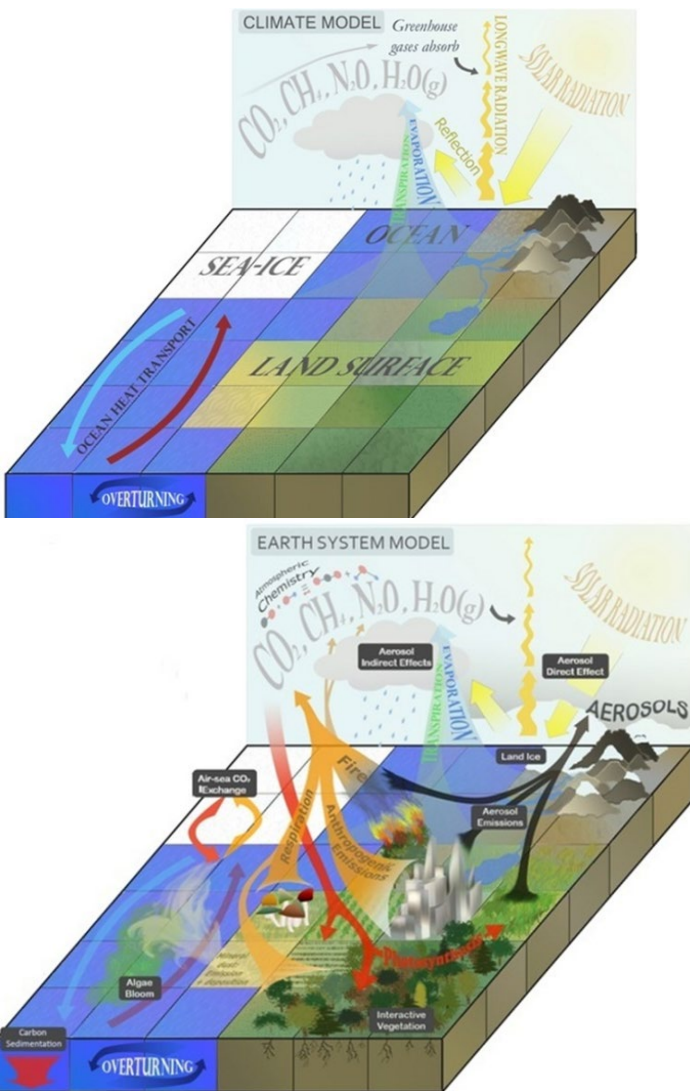
$$\alpha = C_v^{-2}$$

$C_v = 0.45$ (для равнинной открытой территории)

$C_v = 0.2-0.3$ (для густого хвойного леса)

Интегральные кривые распределения запаса воды в
снежном покрове (1 – открытая местность, 2 – хвойный
лес)

Описание гидрологического цикла суши в моделях Земной системы: актуальность и проблемы



Возможности анализа механизмов изменений природных систем вследствие глобального потепления, построения надежных прогнозов масштабов и направленности этих изменений, оценок их воздействия на социально-экономические процессы зависят сегодня от уровня развития численных моделей Земной системы. Эти модели традиционно разрабатываются на базе глобальных моделей климата, но расширяют возможности последних, дополняя описание динамики составляющих климатической системы (атмосферы, океана, криосферы, суши) описанием химических, биохимических, биологических взаимодействий внутри этих подсистем и между ними с учетом деятельности человека.

Одна из ключевых компонент модели Земной системы – модель деятельного слоя суши, описывающая массо-, энерго- и газообмен на поверхности суши с учетом антропогенных воздействий и динамики экосистем.

*Основные компоненты моделей
климата (вверху)
и моделей Земной системы*

Описание гидрологического цикла суши в моделях Земной системы: актуальность и проблемы

В последние годы развитие методов описания процессов гидрологического цикла в моделях деятельного слоя суши шло, прежде всего, по пути уточнения процессов вертикального влаго-, теплообмена в системе «почва-растительность-атмосфера», описания процессов транспирации, газообмена поверхности суши с атмосферой и др.

LSM Component	Basic Description	Pre 2000	Recent Advances	Future Directions
Surface & Canopy Processes	Physics of the surface affecting exchange of the momentum, water, energy and carbon.	Turbulent exchange of momentum, heat, water and carbon. Beer's law for radiation attenuation through canopy.	Multiple canopy layers for radiation attenuation.	Multiple canopy layers for energy, water and carbon exchanges. Microclimate within vegetation canopy.
Snow Physics & Soil Physics	Transfer of energy, heat and water vertically through the medium of snow or soil.	Darcy-Richards equation. Soil freezing included. Single snow layer.	Deeper soil layers for Permafrost. Organic soils included. Multiple snow layers.	Flows of water across the grid. Soil tiles for heterogeneity of soils.
Water bodies	Water that is stored and flows across the landscape, such as rivers, lakes, wetlands, glaciers and groundwater.	Riverflow transported to ocean with no losses.	Inundation, wetlands and groundwater.	Nutrients and water quality. Representation of hillslope-scale dynamics including interaction with river network and groundwater.
Vegetation Physiology & Photosynthesis	Plant processes that affect the uptake and allocation of the net carbon into roots, shoots and leaves.	Photosynthesis linked to transpiration. Phenology included. Carbon uptake affects plant growth and LAI.	Introduce dynamic nitrogen cycle to affect photosynthesis.	Acclimation of plants to temperature. Response to increase of CO ₂ .

Blyth et al., 2021

Описание гидрологического цикла суши в моделях Земной системы: актуальность и проблемы

Эволюция моделей деятельного слоя суши

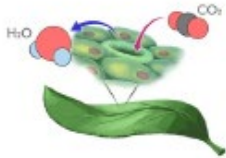
Bonan et al., 2024



(a) Bucket model
FAR, 1990



(b) Land Surface
SAR, 1995



(c) Canopy Physiology
TAR, 2001



(d) Carbon Cycle
AR4, 2007
AR5, 2013



(e) Dynamic Vegetation
AR4, 2007
AR5, 2013



(f) Nitrogen & Land Use
AR6, 2021

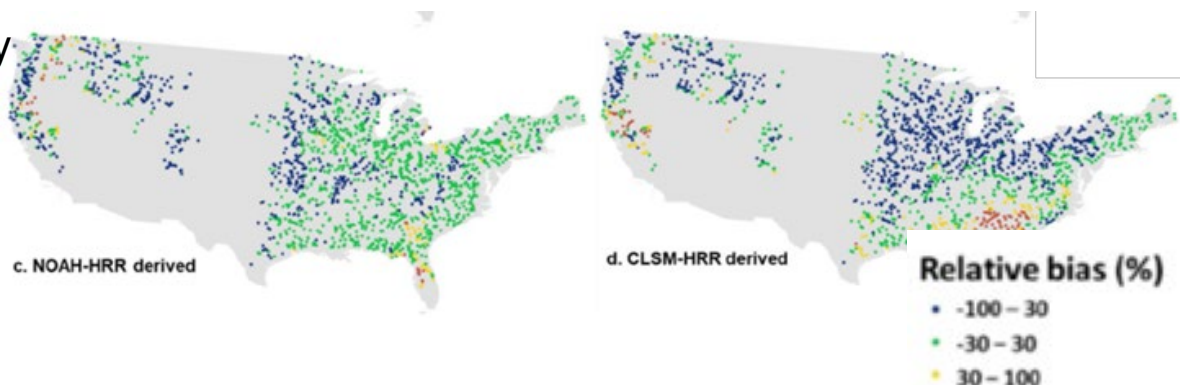
Visual representation of the development of the land component of Earth system models over the past 30 years as described in the Intergovernmental Panel on Climate Change first (FAR, 1990), second (SAR, 1995), third (TAR, 2001), fourth (AR4, 2007), fifth (AR5, 2013), and sixth (AR6, 2021) assessment reports. (a) Bucket model of land hydrology without plant canopies. (b) Big-leaf canopy model of land surface processes including radiative transfer, turbulent fluxes represented by a network of resistances, interception and throughfall, evapotranspiration, and soil and snow physics. (c) Coupled photosynthesis-stomatal conductance models. (d) Biogeochemical carbon cycle models. (e) Dynamic vegetation models with changes in plant taxa in addition to biogeochemistry. (f) Nitrogen and land use/land cover change.

Описание гидрологического цикла суши в моделях Земной системы: актуальность и проблемы

Описание процессов гидрологического цикла суши в моделях Земной системы нередко упрощены по сравнению с параметризациями процессов в атмосфере и океане, что проявляется в **значительных погрешностях оценок и росте неопределенности сценарных прогнозов гидрологических характеристик**. Прежде всего, это относится к оценкам сезонных изменений речного стока **на региональном масштабе**. И отставание в этой области не преодолено за последние десятилетия

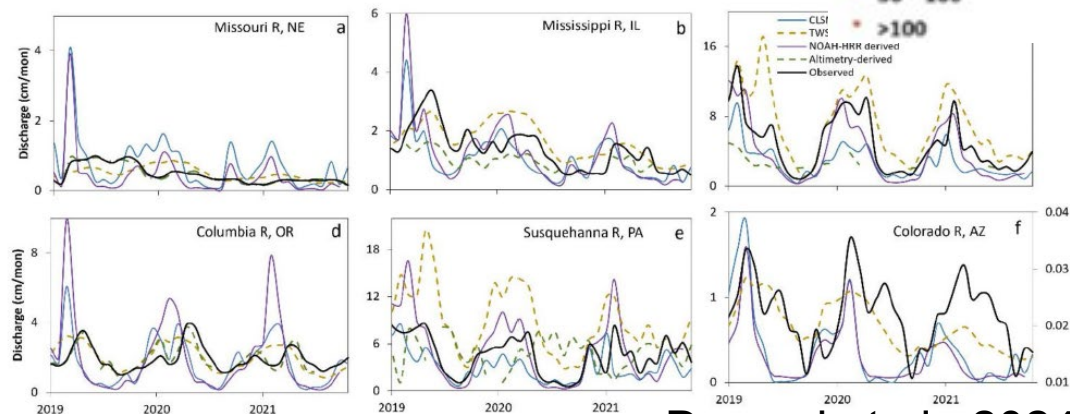
1997 год

“The annual total local runoff is systematically underestimated by all but one of the participant models. This is one of the few significant biases between the consensus of participant models and the observations.”
(Wetzel et al., 1997)



2022 год

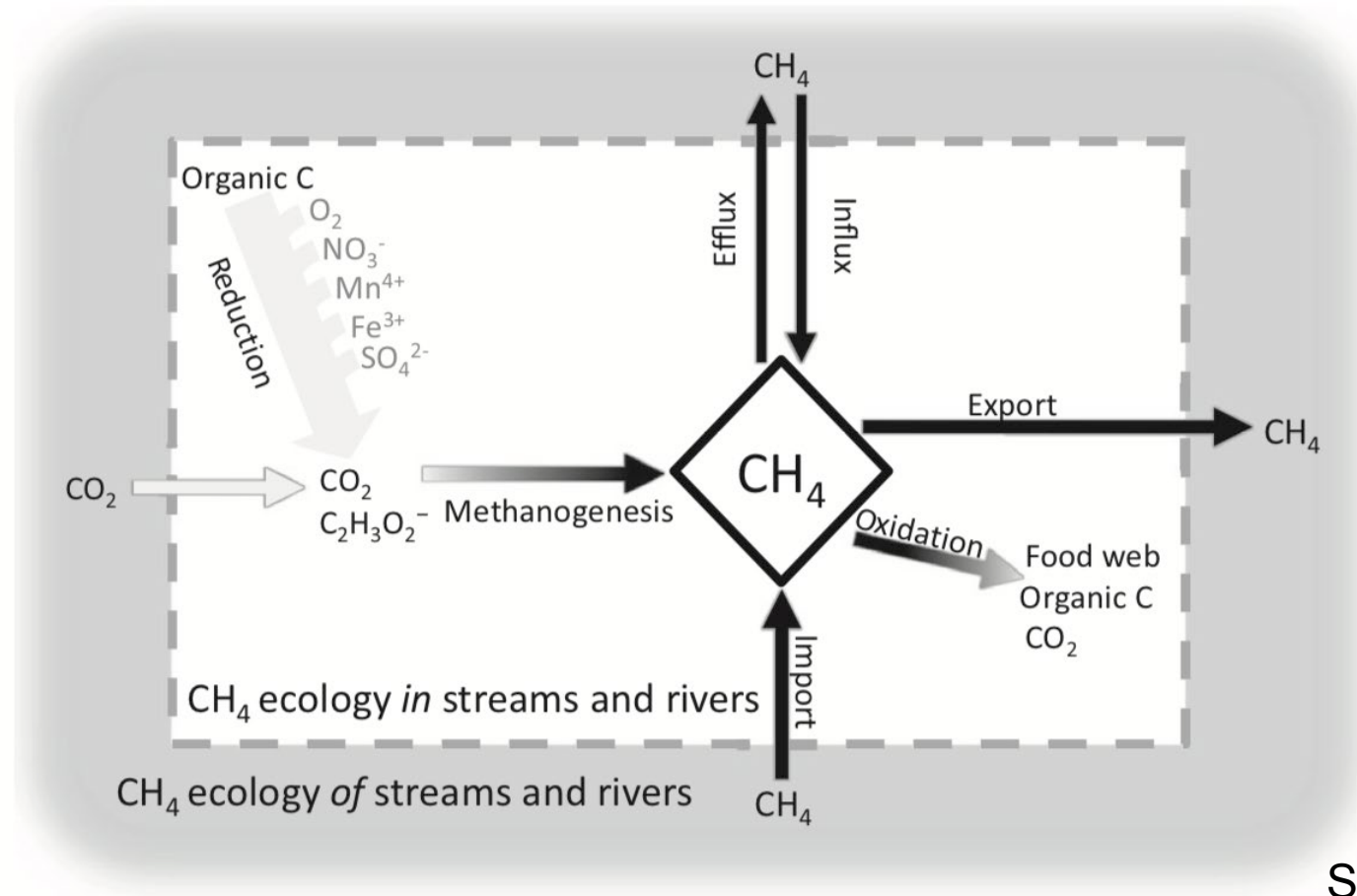
“Compared with CMIP5 models, CMIP6 models have less uncertainty on the global scale, but it has not made outstanding progress on the basin scale.” (Guo et al., 2022)



Duvvuri et al., 2024

Описание гидрологического цикла суши в моделях Земной системы: актуальность и проблемы

Климатическая роль вечного стока: биогеохимия и перенос метана



Stanley et al., 2016

Первые международные публикации и монографии 1980-1990-е

A physically-based model of the formation of snowmelt and rainfall-runoff

L. S. KUCHMENT, V. N. DEMIDOV & JU. G. MOTOVILOV

Water Problems Institute of the USSR Academy of Sciences, 13/3 Sadovo-Chernogryazskaya, 103064 Moscow, USSR

ABSTRACT This is Soviet Hydrology: Selected Papers

physically-based formation. The cover formation, and thawed soil, network. The model basin (area 16 300 processes of runoff 200 finite element and land-use. It statistically demonstrates that it would be mesostructure of taking these distribution results of tests

Simulation of Meltwater Losses through Infiltration into Soil *

YU. G. MOTOVILOV

The accuracy and reliability of spring flood forecasts is determined at the present time mainly by the accuracy of forecasting meltwater losses through infiltration into the soil. Infiltration into frozen soil is accompanied by complex hydrothermal processes. The use of indirect characteristics for estimating the water absorption capacity of soil can lead in some cases to considerable spring flood forecasting errors. The efforts of Soviet and foreign scientists have been directed in recent years toward theoretical investigations of processes taking place during water infiltration into frozen soil and toward the creation of mathematical models capable of reflecting quantitatively the patterns of heat and moisture transport in soil. The following system of equations has been used to find

$$\frac{\partial I}{\partial t} = \left(\frac{\partial I}{\partial T} \right)_x \frac{\partial T}{\partial t} + \left(\frac{\partial I}{\partial W} \right)_x \frac{\partial W}{\partial t}. \quad (5)$$

For brevity we introduce the notations

$$M1 = \left(\frac{\partial \theta}{\partial \psi} \right)_x; \quad M2 = \left(\frac{\partial \theta}{\partial T} \right)_x;$$

$$M3 = \left(\frac{\partial I}{\partial T} \right)_x; \quad M4 = \left(\frac{\partial I}{\partial W} \right)_x.$$

We substitute (3) into (1) and rewrite the system (1)-(3) with allowance for expressions (4) and (5) in the form:

$$M1 \frac{\partial \psi}{\partial t} + \left(\frac{\partial I}{\partial \psi} + M2 \right) \frac{\partial I}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial \psi}{\partial z} - K \right); \quad (6)$$

$$(C_{eff} - \rho_1 L M3) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \rho_w c_w \left(K \frac{\partial \psi}{\partial z} - K \right) \frac{\partial T}{\partial z} + \rho_1 L M4 \frac{\partial W}{\partial t}; \quad (7)$$

$$W = m + \frac{\rho_1}{\rho_w} I. \quad (8)$$

Equations (6)-(8) are a system that includes two non-

Large Scale Effects of Seasonal Snow Cover (Proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987). IAHS Publ. no. 166

Modelling the effects of agrotechnical measures on spring runoff and water erosion

YU. G. MOTOVILOV

Water Problems Institute of the USSR Academy of Sciences, 13/3 Sadovo-Chernogryazskaya, 103064 Moscow, USSR

Hydrological Sciences - Journal - des Sciences Hydrologiques, 36, 2, 4/1991

Dynamic-stochastic models of rainfall and snowmelt runoff formation

ABSTRACT

The paper presents the basic equations of a physically-based model describing meltwater runoff in possibilities of its problems of estimating agrotechnical measures water erosion are considered

L. S. KUCHMENT & A. N. GELFAN

Water Problems Institute, USSR Academy of Sciences, 13/3 Sadovo-Chernogryazskaya, 103064, Moscow, USSR

Abstract Possibilities for the development of dynamic-stochastic models of runoff formation with random inputs are discussed. Two models are described: the first allows the calculation of the statistical distribution of the maximum discharges of rainfall



PHYS developments in the 1990s-2000s

Snow accumulation and melt beneath a forest canopy

OCTOBER 2004

GELFAN ET AL.



ELSEVIER

Journal of Hydrology 240 (2000) 1–22

Journal
of
Hydrology
www.elsevier.com/locate/jhydrol

Modeling Forest Cover Influences on Snow Accumulation, Sublimation, and Melt

A. N. GELFAN

Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

J. W. POMEROY

Department of Geography, University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, Canada

L. S. KUCHMENT

Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

(Manuscript received 1 December 2003, in final form 23 March 2004)

ABSTRACT

A comprehensive, physically based model of snow accumulation, redistribution, sublimation, and melt for open and forested catchments was assembled, based on algorithms derived from hydrological process research in Russia and Canada. The model was used to evaluate the long-term snow dynamics of a forested and an agricultural catchment in northwestern Russia without calibration from snow observations. The model was run with standard meteorological variables for the two catchments, and its results were tested against regular surface observations of snow accumulation throughout the winter and spring period for 17 seasons. The results showed mean errors in comparison to observations of less than 3% in estimating snow water equivalent during the winter and melt seasons. Snow surface evaporation and blowing snow were found to be small components of the mass balance, but intercepted snow sublimation removed notable amounts of snow over the winter from the forested catchment. Average snow accumulation was 15% higher in the open catchment, largely due to a lack of intercepted snow sublimation. Melt rates were 23% higher in the open than in the forest, but the effect on melt duration was suppressed by the smaller pre-melt accumulation in the forest. Only a moderate sensitivity of snow accumulation to forest leaf area was found, while a substantial variation was observed from season to season with changing weather patterns. This suggests that the ensemble of snow processes is more sensitive to variations in atmospheric processes than in vegetation cover. The success in using algorithms from both Canada and Russia in modeling snow dynamics suggests that there may be a potential for large-scale transferability of the modeling techniques.

1. Introduction

Differences between snow characteristics in open and forested areas have been observed for many years in both North America and the former USSR (Kuz'min 1954, 1960, 1961; Komarov 1959; Popov 1963; Miller 1964; Subbotin 1966; Apollonov et al. 1967; Findlay 1966; Golding and Swenson

and 10%–60% larger than in spruce forests. At the same time, mean maximum SWE in the large fields and in the open catchments, as a rule, is 15%–20% smaller than in neighboring forested catchments. Mean spring snowmelt rate in dense coniferous forest may be 3–5

HYDROLOGICAL PROCESSES
J. Hydrol. Process. 15, 3343–3355 (2001)
DOI: 10.1002/hyp.1032

Sub-grid variability of snow processes

Statistical self-similarity of spatial variations of snow cover: verification of the hypothesis and application in the snowmelt runoff generation models

L. S. Kuchment* and A. N. Gelfan

Water Problems Institute of Russian Academy of Sciences, 117735, Gubkin 3, Moscow, Russia

Abstract:

An analysis of snow cover measurement data in a number of physiographic regions and landscapes has shown that fields of snow cover characteristics can be considered as random fields with homogeneous increments and that these fields exhibit statistical self-similarity. A physically based distributed model of snowmelt runoff generation developed for the Upper Kolyma River basin (the catchment area is about 100 000 km²) has been used to estimate the sensitivity of snowmelt dynamics over the basin and flood hydrographs to the parameterization of subgrid effects based on the hypothesis of statistical self-similarity of the maximum snow water equivalent fields. Such parameterization of subgrid effects enables us to improve the description of snowmelt dynamics both within subgrid areas and over the entire river basin. The snowmelt flood hydrographs appear less sensitive to the self-similarity of snow cover over subgrid areas than to the dynamics of snowmelt because of a too large catchment area of the basin under consideration. However, for certain hydrometeorological conditions and for small river basins this effect may lead to significant changes of the

Runoff generation in the permafrost regions

A distributed model of runoff generation in the permafrost regions

L.S. Kuchment*, A.N. Gelfan, V.N. Demidov

Water Problems Institute of Russian Academy of Sciences, 117735 Gubkin 3 Moscow, Russia

Received 1 July 1999; revised 21 March 2000; accepted 21 August 2000

Abstract

A physically based distributed model of snowmelt and rainfall runoff generation in the permafrost regions has been developed. The model describes snow cover formation and snowmelt, thawing of the ground, evaporation, basin water storage dynamics, overland, subsurface and channel flow. An important feature of the model is taking into account influence of the depth of thawed ground on water input, water storage and redistribution of water input between surface and subsurface flow. The choice of the structure of the model is based on the analysis of the long-term observations of the runoff generation processes at the Kolyma water balance station and is oriented to the available standard hydrometeorological information in the cold regions. A case study of the proposed model has been performed for the Upper Kolyma River basin (the catchment area is 99,400 km²). © 2000 Elsevier Science B.V. All rights reserved.

Keywords: Distributed modelling; Runoff; Permafrost region; Model calibration/verification; River Kolyma

1. Introduction

The permafrost regions cover approximately one-quarter of the land surface of the world, more than

increasing attention to studies associated with the global processes make investigation of permafrost hydrological processes and especially runoff generation highly important and urgent. For this reason,

Parametrization of frozen soil processes

Predictions in Ungauged Basins: Promise and Progress (Proceedings of symposium S7 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil, April 2005). IAHS Publ. 303, 2006.

Physically-based model of heat and water transfer in frozen soil and its parameterization by basic soil data

ALEXANDER GELFAN

Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, 119991, Gubkin 3, Moscow, Russia
hydropwi@aquas.laser.ru

Abstract A physically-based model of the hydrothermal regime of frozen soil has been developed. This model describes the process of coupled heat and moisture transfer through homogeneous, unsaturated frozen soil and account for the influence of phase changes on water flow. The process is formulated as a one-dimensional partial differential equations, which are solved by an implicit,

Coupled modeling of the hydrological and carbon cycles in the soil-vegetation-atmosphere system



Journal of Hydrology
Volume 323, Issues 1–4, 30 May 2006, Pages 4–21



Coupled modeling of the hydrological and carbon cycles in the soil-vegetation-atmosphere system

L.S. Kuchment*, V.N. Demidov, Z.P. Startseva

Show more

+ Add to Mendeley



Share



Cite

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.08.011>

[Get rights and content](#)

Abstract

A coupled model of the hydrological and carbon cycles in the soil-vegetation-atmosphere system is suggested. The model describes the interception and evaporation of precipitation by canopy, transpiration, vertical transfer of soil moisture, photosynthesis, the interaction between transpiration and photosynthesis, and plant and

Dynamic-stochastic modelling

Journal of Hydrology 388 (2010) 85–99

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Hydrology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jhydrol



ELSEVIER

Extreme snowmelt floods: Frequency assessment and analysis of genesis on the basis of the dynamic-stochastic approach

Alexander Gelfan*

Water Problems Institute of Russian Academy of Sciences, 119333, 3 Gubkin Str., Moscow, Russia

ARTICLE INFO

Article history:
Received 1 May 2009
Received in revised form 9 March 2010
Accepted 21 April 2010

This manuscript was handled by
K. Georgakakos, Editor-in-Chief, with the
assistance of Günter Blöchl, Associate Editor

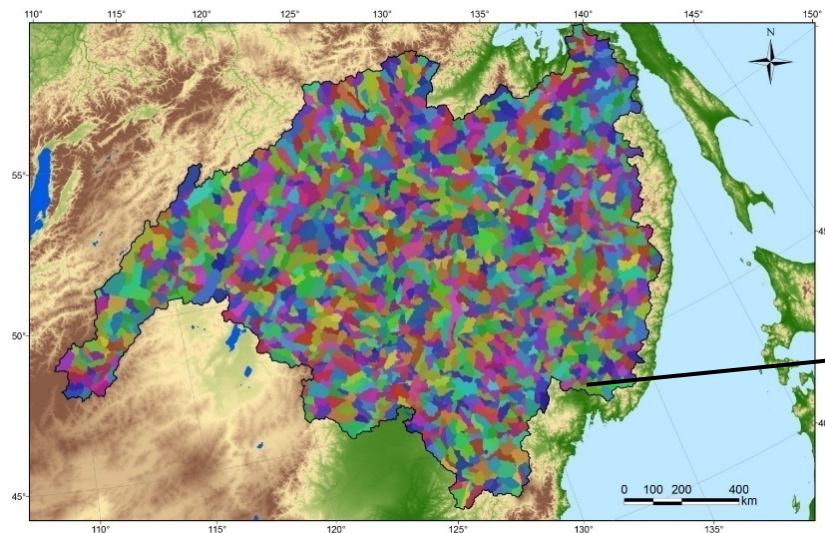
SUMMARY

A dynamic-stochastic approach, which combines a deterministic model of snowmelt runoff with a stochastic weather generator, has been proposed. The model describes snow accumulation, melt, vertical heat and moisture transfer in a soil, detention of melt water by the depressions at the ground surface, overland and channel flow. The weather generator includes stochastic models that daily values of precipitation, air temperature, and air humidity during a whole year. Daily weather data have been simulated by Monte Carlo procedure and transposed to snowmelt flood hydrographs on the basis of continuous simulation by the model of runoff generation. A specific censoring procedure has been developed to select among the generated weather scenarios the ones that can lead to generation of extreme snowmelt floods.

Semi-distributed physically-based hydrological model

ECOMAG is an advancement of ideas implemented in PHYS

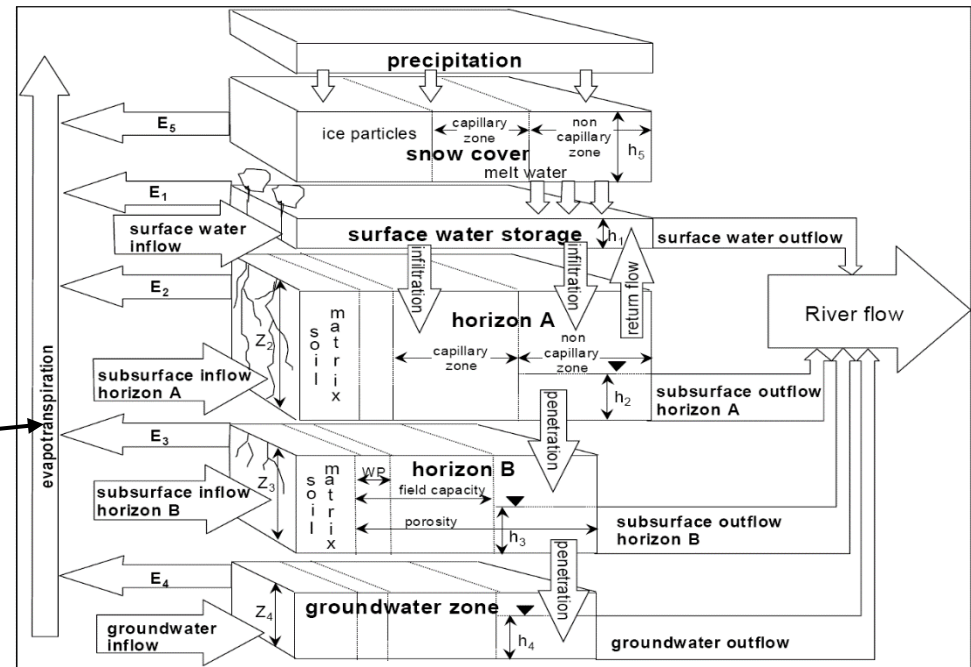
Representation of the catchment area by representative elementary watershed, REW (example of the Amur River basin schematization)



Agricultural and Forest Meteorology
Volumes 98–99, 31 December 1999, Pages 257–277



Hydrological processes describing within each elementary area (computational grid cell)



Motovilov et al., 1999

Validation of a distributed hydrological model against spatial observations

Yuri G Motovilov ^{1 a}, Lars Gottschalk ^a, Kolbjørn Engeland ^a, Allan Rodhe ^b

Совершенствование описания гидрологических процессов в модели деятельного слоя суши TerM

1. Развитие моделей отдельных гидрологических процессов

- 1.1 Вертикальный тепло-влажноперенос в мерзлой почве с учетом влияния льда и переохлажденной влаги.
- 1.2 Формирования снежного покрова и снеготаяния под пологом леса
- 1.3 Гидротермический режим сезонно талого слоя в зоне многолетней мерзлоты
- 1.4 Тепловлагообмен почвы с атмосферой под пологом леса
- 1.5 Формирование ледникового стока с учетом орографической составляющей осадков в горных районах.

2. Развитие методов параметризации пространственной изменчивости гидрологических процессов

- 2.1 Детализация пространственного разрешения характеристик подстилающей поверхности
- 2.2 Подсеточная изменчивость запасов воды в снежном покрове.
- 2.3 Подсеточная изменчивость впитывающей способности почвогрунтов.
- 2.4 Переход к «природоподобным» расчетным сеткам на основе гидрологической концепции элементарных репрезентативных водосборов

3. Развитие методов оценки параметров и тестирования модели

- 3.1 Задание гидрофизических параметров незамерзшей и мерзлой почвы по почвенно-гидрологическим константам
- 3.2 Новые методы верификации модели по данным наблюдений за речным стоком и другими гидрологическими характеристиками (в т.ч. по данным наблюдений на экспериментальных водосборах)

Возможности совершенствования модели ДСС

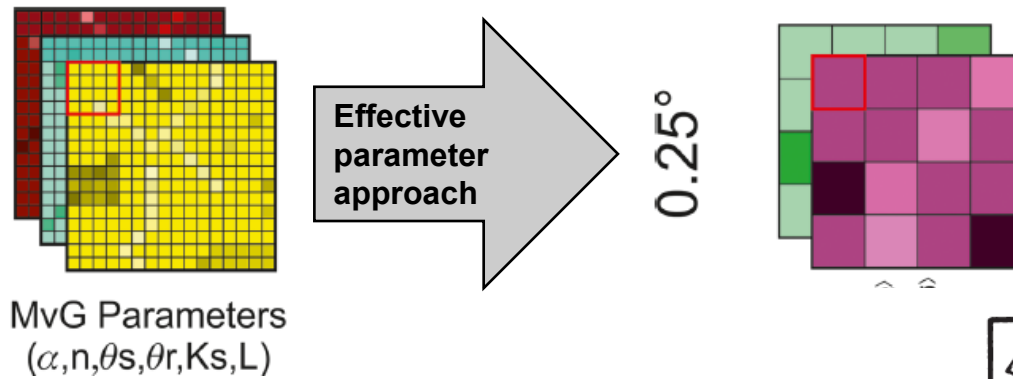
3. Совершенствование методов описания подсеточной изменчивости характеристик подстилающей поверхности (на примере гидрофизических характеристик почвы)

Table 6. Autocorrelation length scales (ranges) for derived soil hydraulic properties.

Name	Symbol	$\gamma(h)$ model	range (m)*	reference
Saturated water content	θ_s	Spherical ^{1,4}	800–900 ^{1a} , 55 ^{2b} , 14–76 ³ , 20–36 ⁴	¹ Romano and Santini (1997), ² Russo and Bresler (1981), ³ Mulla and McBratney (2000), ⁴ Neuman and Wierenga (2003)
Residual water content	θ_r	Spherical ^{1c}	25 ^{1c,2} , 10–50 ^{3d}	¹ Vauclin et al. (1983), ² Russo and Bresler (1981), ³ Jensen and Refsgaard (1989)
vG fitting parameter	α	N/A ¹ , spherical ^{2c}	N/A ¹ , 25 ^{2c}	¹ Mohanty et al. (1994), ² Vauclin et al. (1983)
vG fitting parameter	n	Spherical ^{1c}	25 ^{1c}	¹ Vauclin et al. (1983)
B&C air entry pressure	ψ_c	spherical ^{1c}	25 ^{1c}	¹ Vauclin et al. (1983)
B&C pore size distr.index	λ	N/A ^{1e} , spherical ^{2c}	N/A ^{1e} , 25 ^{2c}	¹ Mohanty et al. (1994), ² Vauclin et al. (1983)
Campb. fitting parameter	b	Spherical ^{1c,2f}	25 ^{1c}	¹ Vauclin et al. (1983), ² Meyer et al. (1997)
Saturated conductivity	K_{Sat}	Spherical ^{1g}	21 ^{2,3} , 120 ^{1g} , N/A ⁴ , 25–40 ⁵ , 1–34 ⁶ , 20–36 ⁷ , 1–25 ⁸	¹ Cook et al. (1989), ² Russo and Bresler (1981), ³ Vauclin et al. (1983), ⁴ Mohanty et al. (1994), ⁵ Jensen and Refsgaard (1989), ⁶ Mulla and McBratney (2000), ⁷ Neuman and Wierenga (2003), ⁸ Sobieraj et al. (2004)

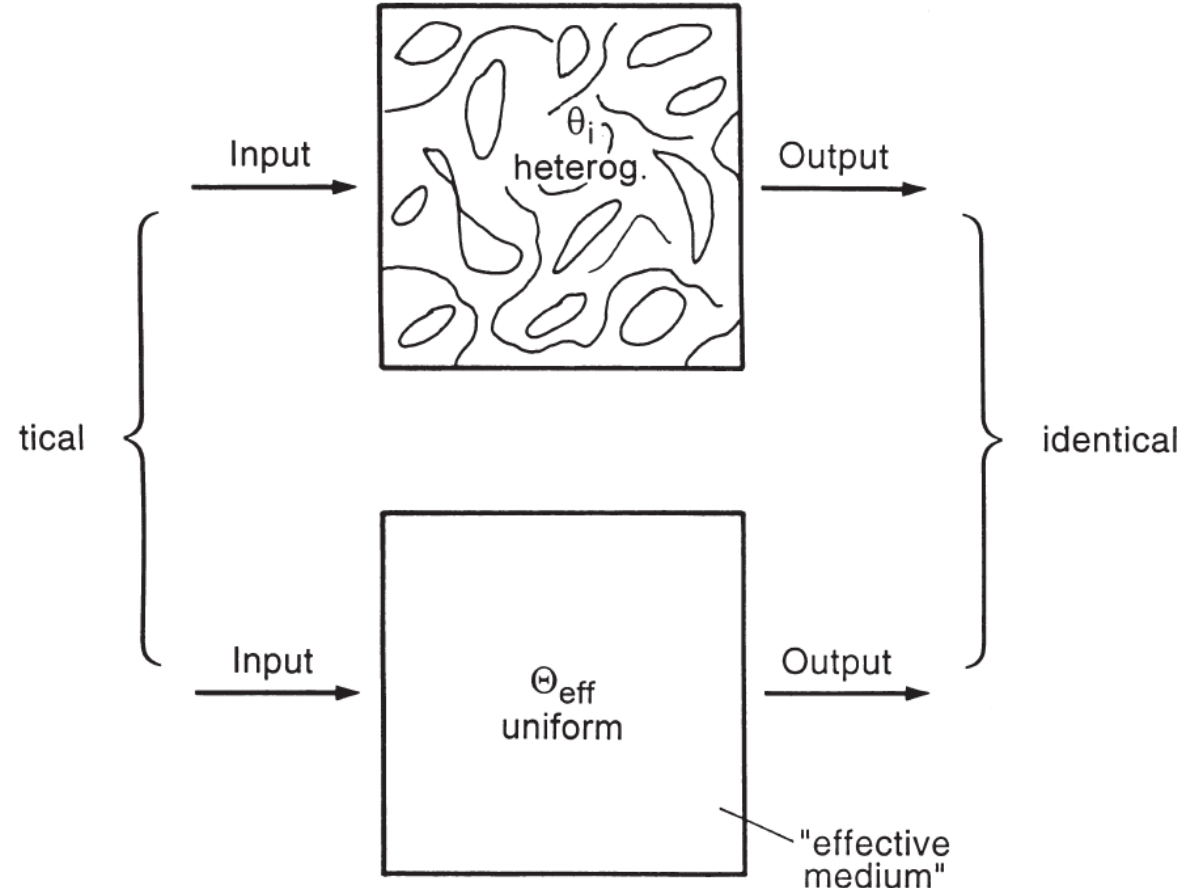
van der Keur,¹Iversen, 2006²

Распространенные в гидрологическом моделировании методы параметризации подсеточной изменчивости гидрофизических свойств почвогрунтов: расчет «эффективных параметров»



Ограничения

1. «Эффективные параметры» часто не соответствуют реальным физическим характеристикам почв.
2. «Эффективные параметры» могут существенно отличаться для разных искомых переменных (влажность почвы, испарение, речной сток...)
3. Нахождение эффективных параметров для каждой ячейки требует огромных вычислительных ресурсов, если речь идет о глобальной модели ДСС

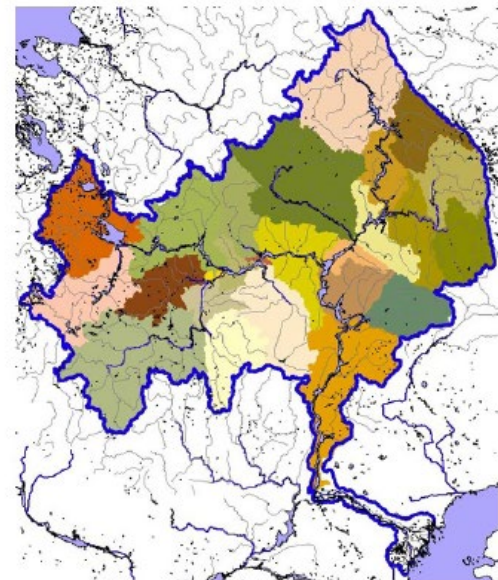
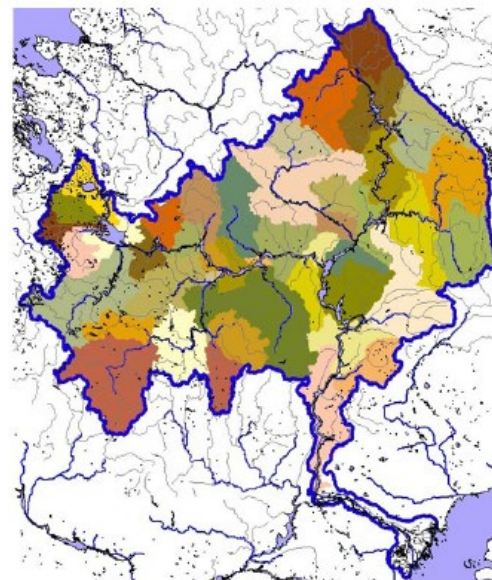
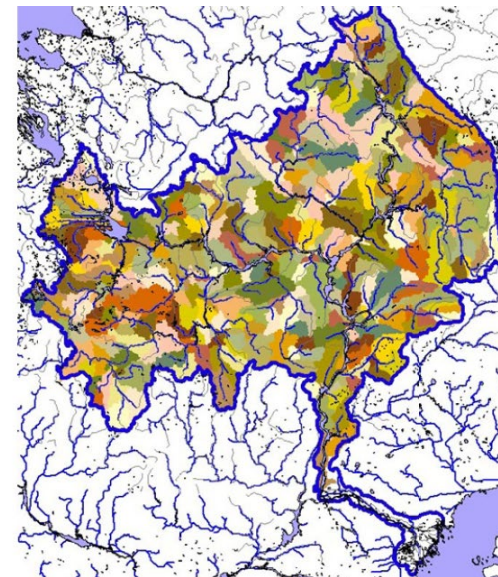


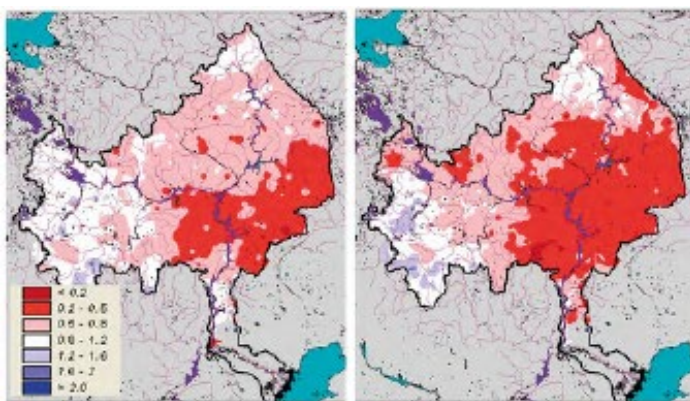


Цифровая модель рельефа

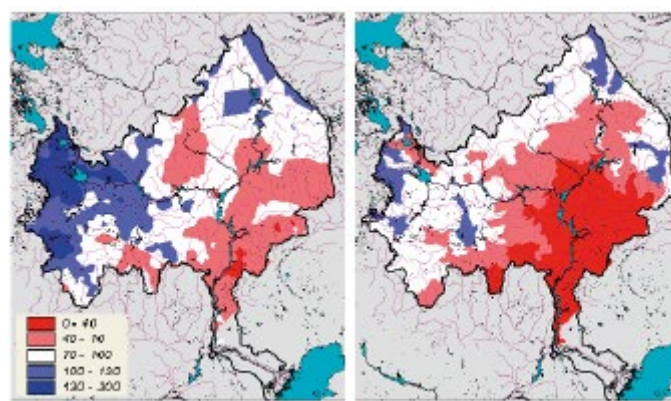


Ландшафтная карта

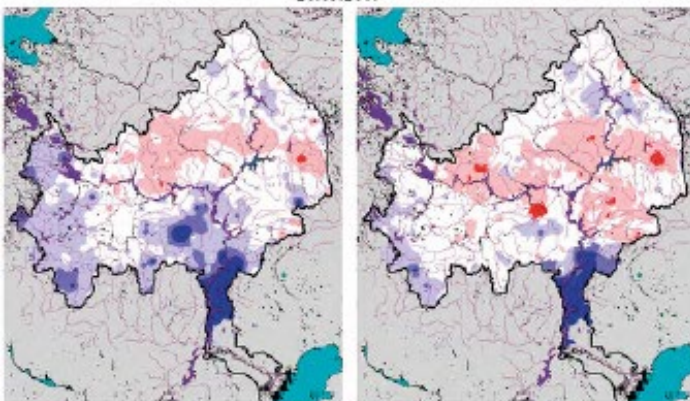




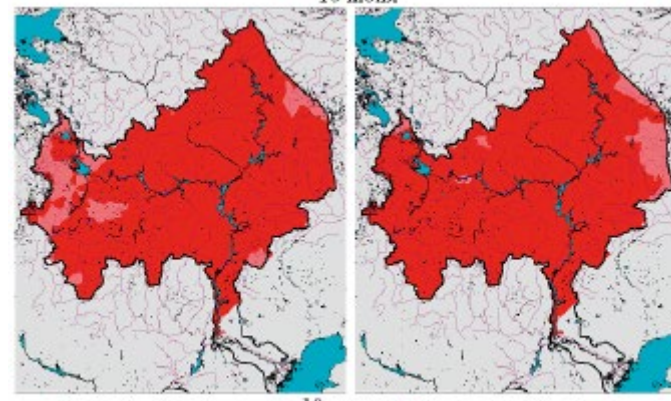
20.03.2009



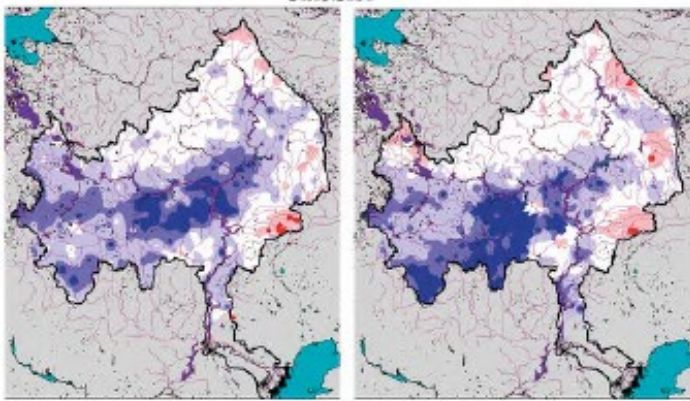
10 июня



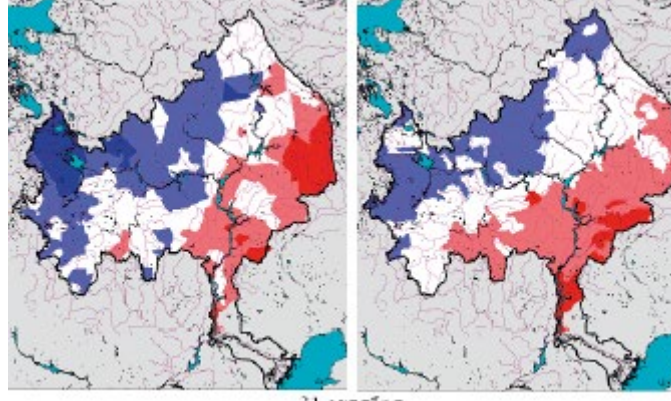
20.03.2010



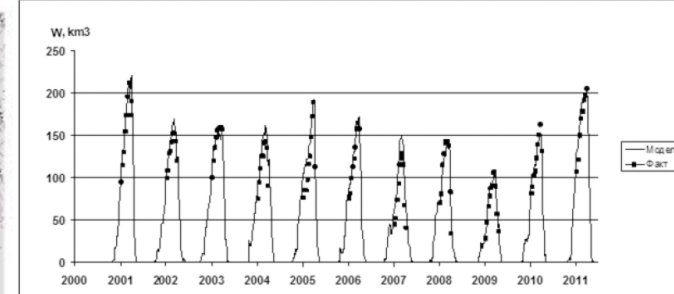
10 августа



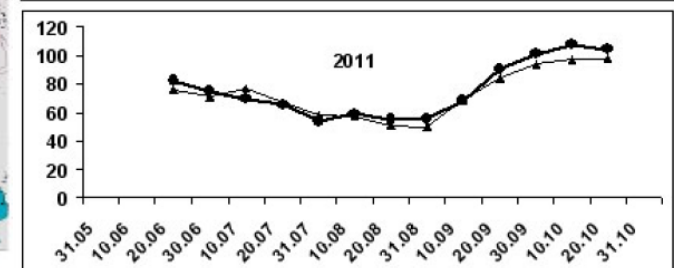
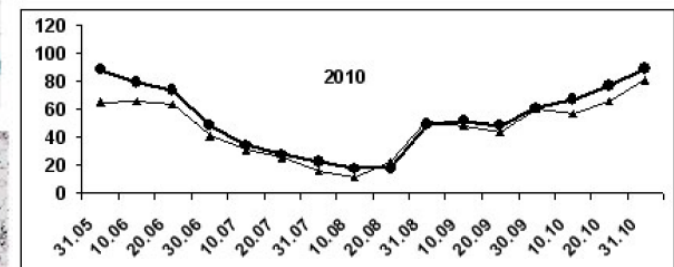
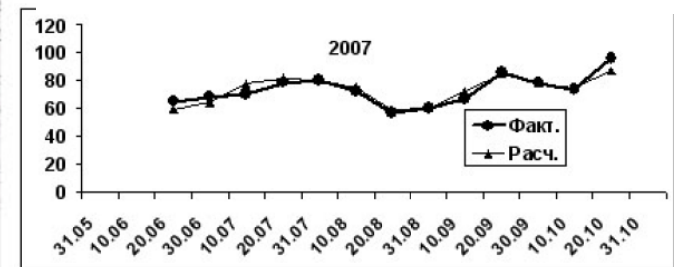
20.03.2011



31 октября



Динамика усредненных по бассейну запасов влаги в снеге 2001-2011



Фактические (слева) и рассчитанные запасы воды в снеге на заданную дату (бассейн Волги) (Мотовилов, 2016)

Фактические (слева) и рассчитанные запасы воды в полуметровом слое почвы на заданную дату (бассейн Волги)

Динамика усредненных по бассейну запасов влаги в полуметровом слое почвы

Возможности совершенствования модели ДСС

5. Совершенствование методов задания параметров и проверки моделей

Ограничения в использовании статистических и детерминистических методов калибровки

1. Огромное число расчетных элементов, десятки (сотни) параметров ограничивают возможности применения методов статистических испытаний
2. Многомерность, сложность и неопределенность формы поверхности отклика затрудняет применение градиентных методов

Некоторые возможности

1. Большая часть параметров может быть задана по их зависимостям от измеряемых, в т.ч. дистанционно, характеристик поверхности (почв, растительности, типа ландшафта, рельефа...), широко применяемым в гидрологии, физике почв, геоморфологии, криолитологии
2. Методы переноса параметров на территории с недостаточными или отсутствующими наблюдениями (см. монографию PUB)
3. Методы машинного обучения?

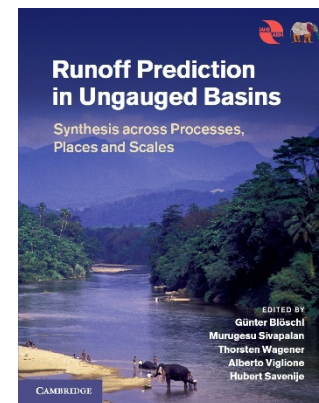
A machine learning approach to emulation and biophysical parameter estimation with the Community Land Model, version 5

Katherine Dagon¹, Benjamin M. Sanderson^{1,2}, Rosie A. Fisher^{1,2}, and David M. Lawrence¹

¹National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, USA

²CERFACS, Toulouse, France

Correspondence: Katherine Dagon (kdagon@ucar.edu)

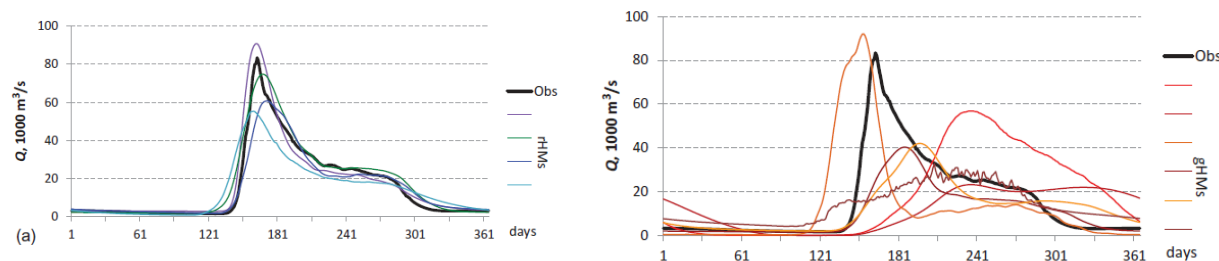


Возможности совершенствования модели ДСС

5. Совершенствование методов задания параметров и проверки моделей

ISIMIP Water Sector: 2nd phase results

Checking a hypothesis that “**good performance of hydrological models in the historical period increases confidence of projected impacts under climate change, and decreases uncertainty of projections related to hydrological models**”



Lena River average daily discharge in the reference period 1971–2000 simulated by (a) regional models, rHMs, and (b) global models, gHMs (from Krysanova et al., 2018).

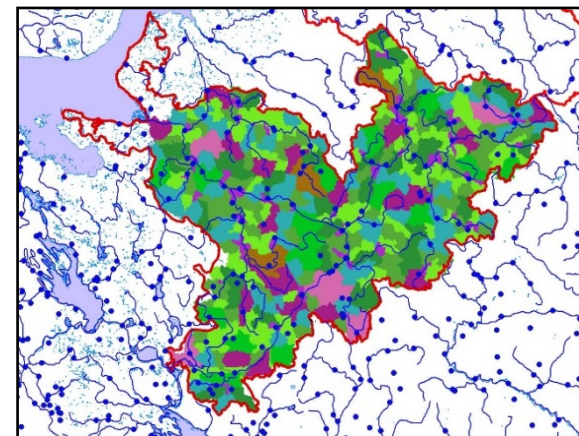
Key findings

Evaluating performance of hydrological model in the historical period is a necessary (but not sufficient) condition for judging model applicability for climate impact studies.

Model evaluation is important for both the scientific credibility and user acceptance of results of climate change impact studies.

Fan et al. (2019) and the hydrology community more generally (Clark, Fan, et al., 2015), have argued that landscapes might be tiled according to “hydrological response units” (HRU) which attempt to capture the dynamics of lateral water drainage, and thus the nonlinear impacts on hydrological and ecological processes downstream from the simulated topographic convergence of moisture. Such schemes define HRUs in terms of fractions of a grid cell, and thus can represent bulk properties of hydrological variation without increasing computational costs by orders of magnitude. Subin et al. (2014) illustrate the impacts of subgrid representation of hillslope hydrology in the GFDL model, noting, in particular, an increase in soil carbon resulting from saturated lowland areas. Swenson et al. (2019) report the implementation of an HRU approach into the Community Land Model v5, illustrating that the strongest impact of hydrological tiling occurred in semiarid areas. HRU tiling efforts are underway in other LSMs, for example, JULES (<https://www.ceb.ac.uk/hydrojules>). Fan et al. (2019) further note that as well as lateral drainage from hills to valley, slope aspect (the difference between sunny and shady slopes) is another first-order control on water and energy availability across the landscape.

4. Переход от регулярной широтно-долготной сетки к схематизации по элементарным водосборам, широко используемой в гидрологическом моделировании.



Описание гидрологического цикла суши в моделях Земной системы: актуальность и проблемы

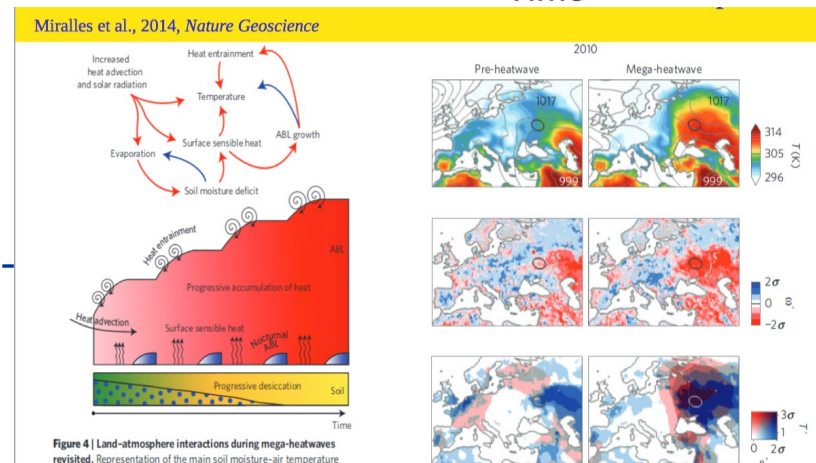
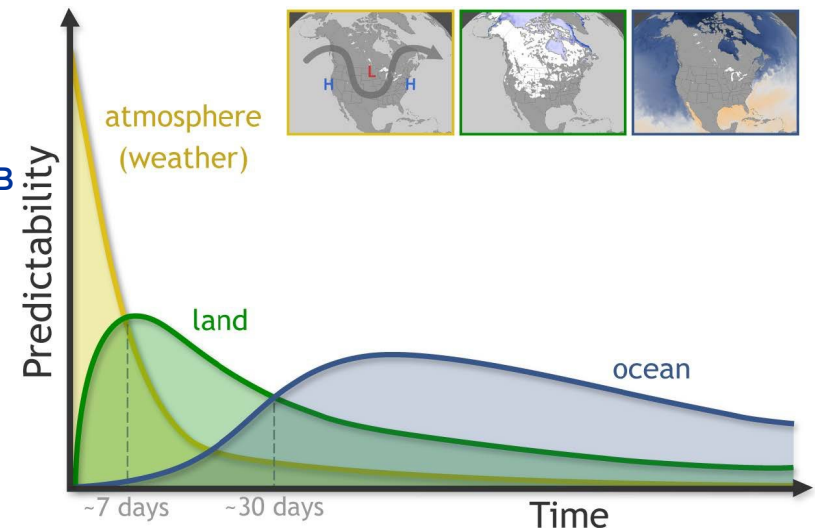
Процессы гидрологического цикла суши играют фундаментальную роль в регулировании энерго-, массо- и газообмена в Земной системе, и улучшение описания этих процессов в моделях деятельного слоя суши повышает, как подтверждено многими исследованиями, обоснованность оценок и прогнозов ее состояния.

Влажность почвы - основной источник предсказуемости атмосферных процессов на масштабах 7-30 дней,

Речной сток – значимый фактор термохалинной циркуляции и биохимических процессов в океане,

Взаимодействие поверхностных и грунтовых вод оказывает существенное влияние на процессы углеродного цикла

Процессы снегонакопления и снеготаяния – важнейшие факторы массо- и энергообмена суши с атмосферой в высоких широтах и высокогорьях



В обзорах современных достижений в области моделирования деятельного слоя суши, опубликованных в последние годы (Clark et al., 2015; Fan et al., 2019; Fisher, Coven, 2020; Blyth et al., 2021), обосновывается необходимость совершенствования параметризации гидрологических процессов и **подчеркивается сформировавшийся запрос на более тесное сотрудничество между гидрологическим сообществом и сообществами разработчиков моделей Земной системы**, на активизацию участия гидрологов в развитии моделей деятельного слоя суши.

Поток влаги q на поверхности почвы:

$$q = P - E - q_s,$$

где P – осадки, E – испарение, q_s – поверхностный сток.

$$q_s = q_{sat} + q_{unsat},$$

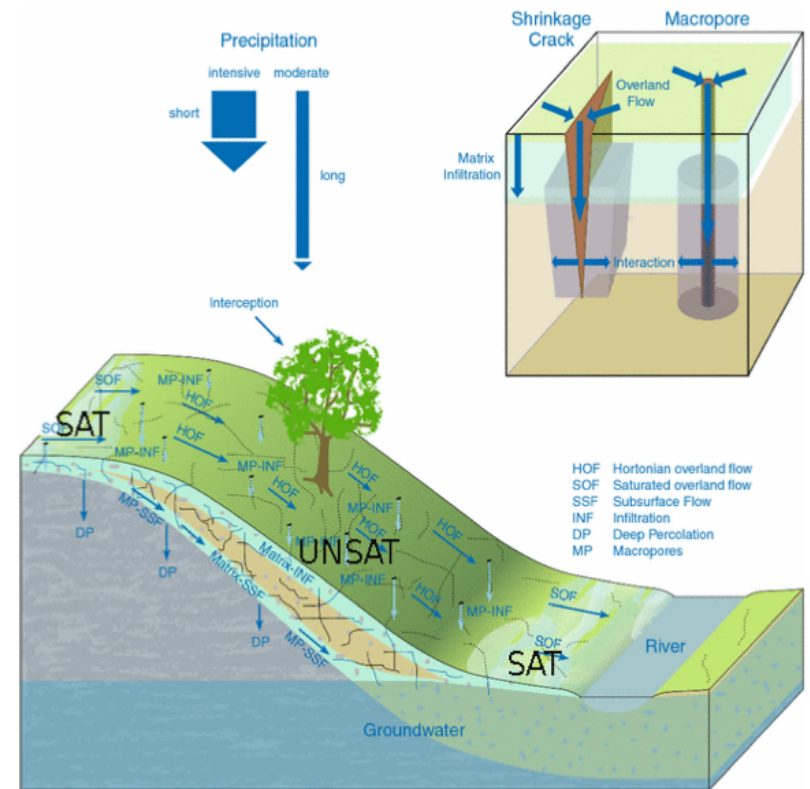
$$q_{sat} = F_{sat}P$$

сток с насыщенной почвы,

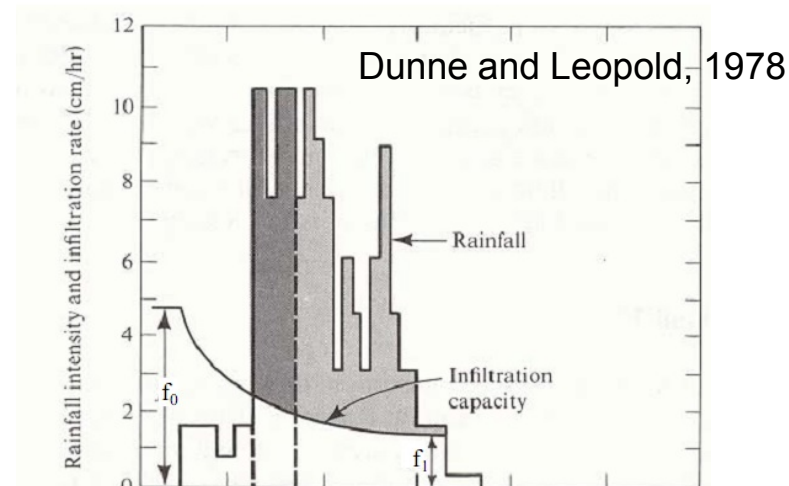
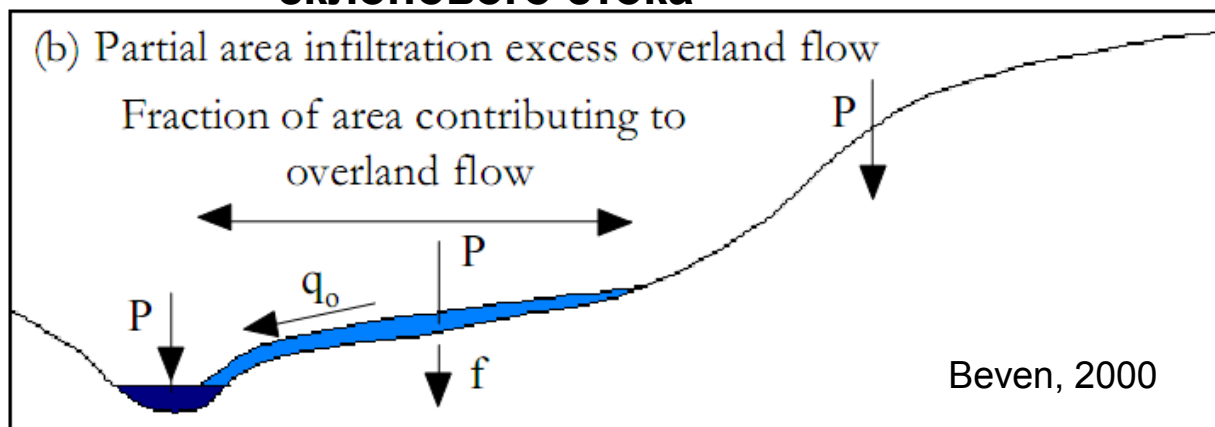
$$q_{unsat} = (1 - F_{sat}) \max(0, P - q_{max})$$

сток с ненасыщенной почвы

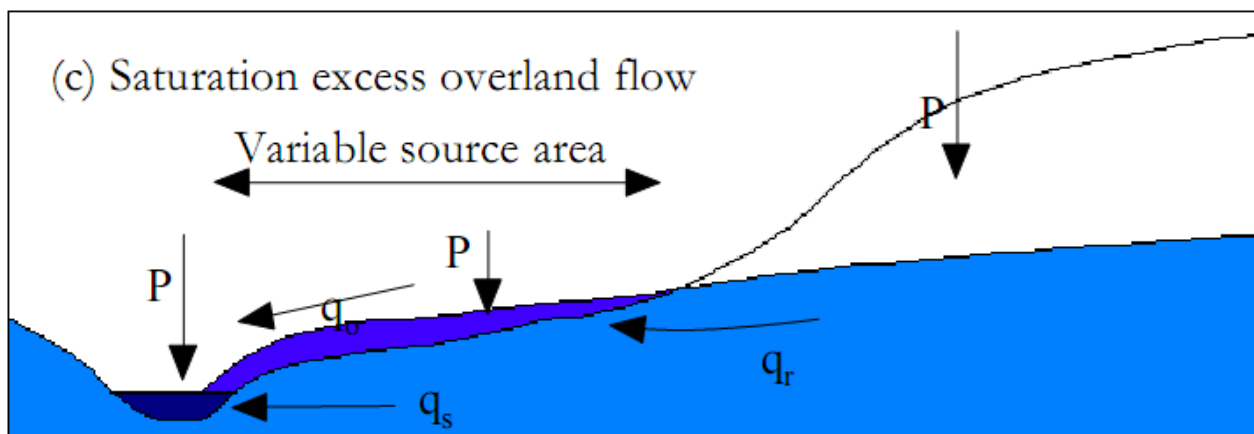
F_{sat} – доля ячейки с насыщенной поверхностью почвы, q_{max} – максимально возможный инфильтрационный поток.



Инфильтрационный механизм формирования поверхностного склонового стока

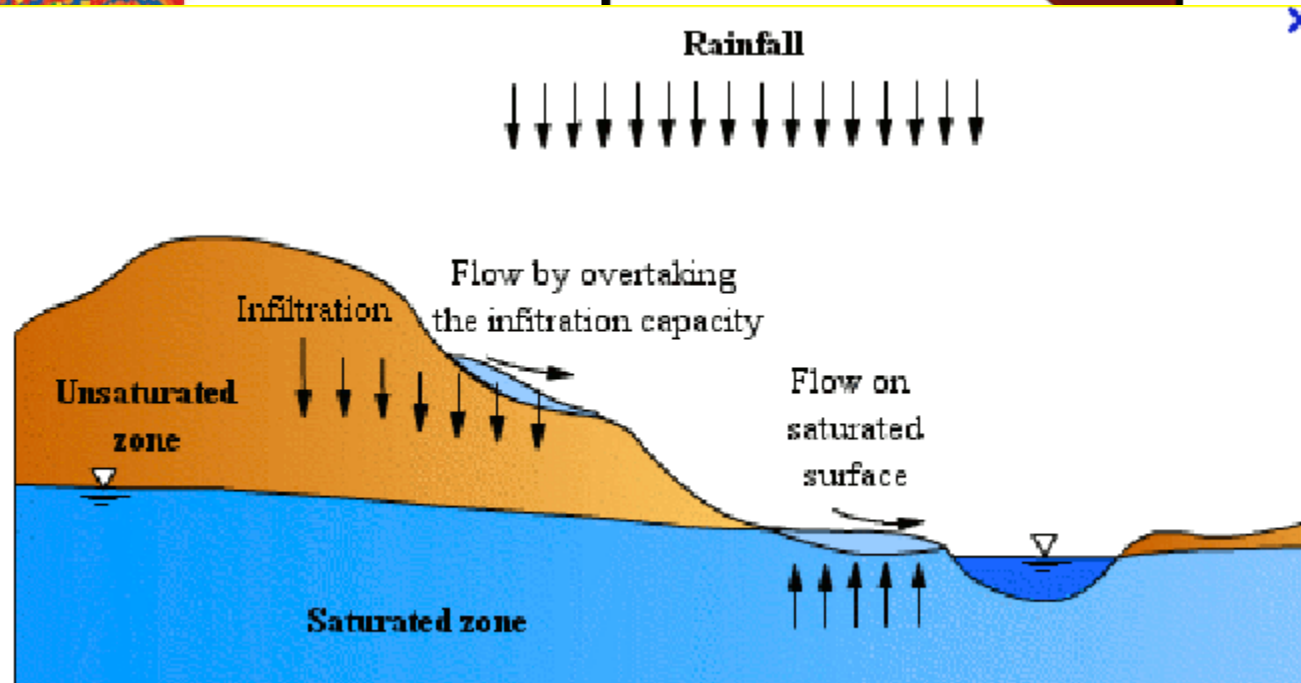
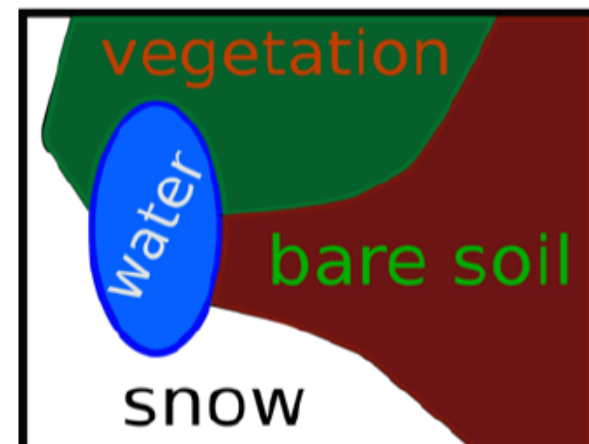
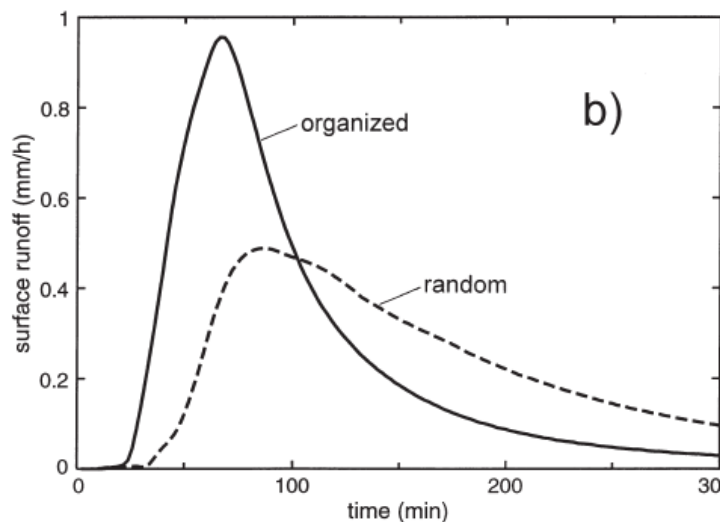
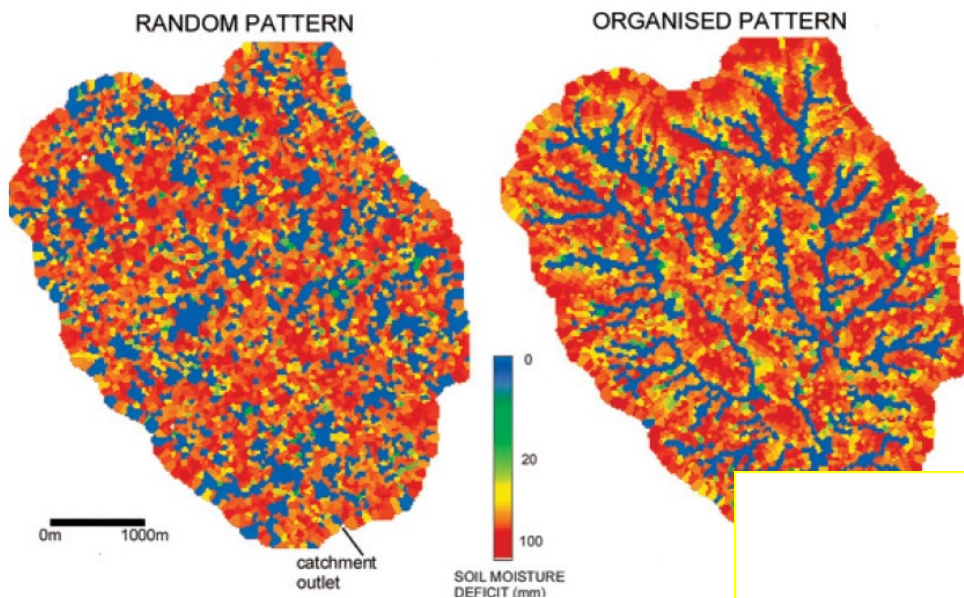


Емкостной механизм формирования поверхностного и внутрипочвенного стока



Как улучшить воспроизведение речного стока в модели деятельного слоя суши?

1. Подсеточная изменчивость гидрофизических свойств почв

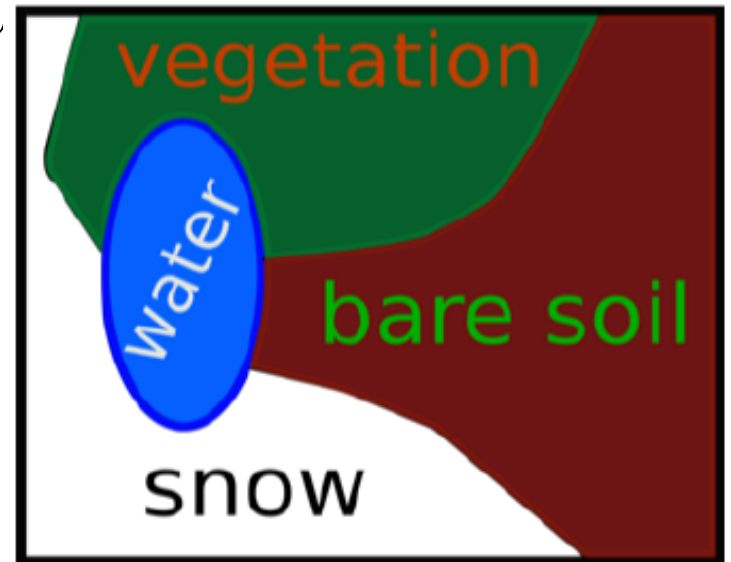
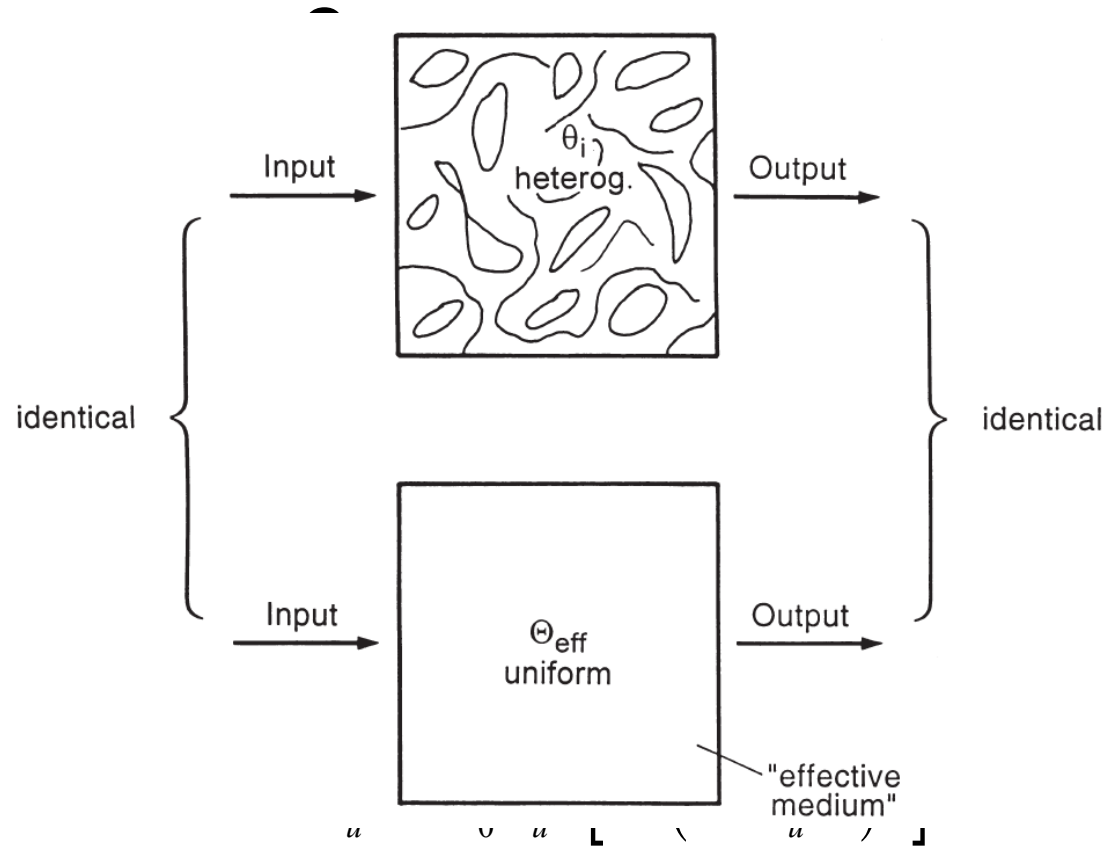


исследования гидрологических РАН-МГУ

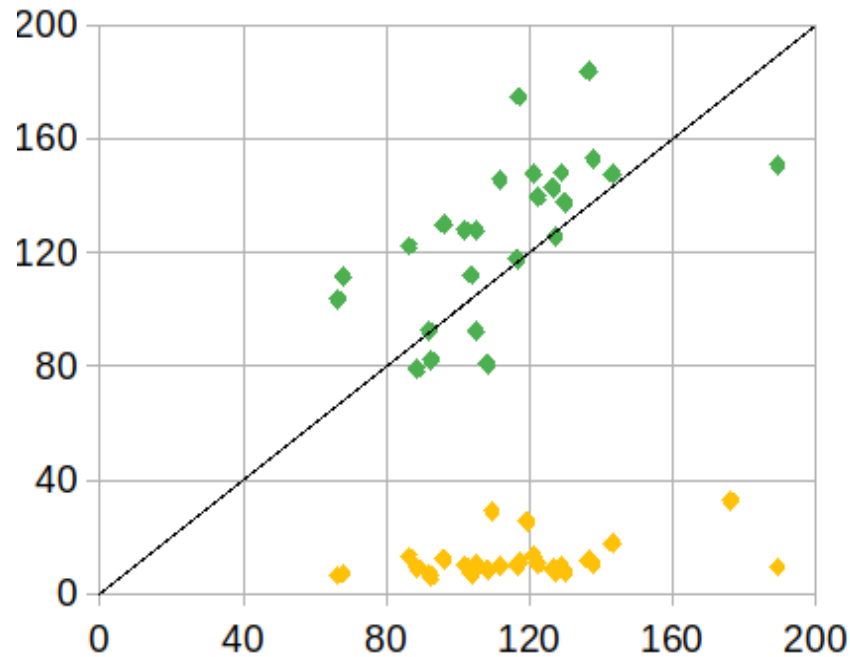
Коррекция гидрофизических
параметров с учетом льдистости
(Gelfan, 2006)

$$\theta(I) = - \frac{\left(S^{-1/m} - 1\right)^{1/n}}{\alpha_g} \left(\frac{P}{P-I}\right) (1+8I)^2$$

$$K_u(S) = \left[1 - \left(1 - S^{1/m}\right)^m\right]^2$$

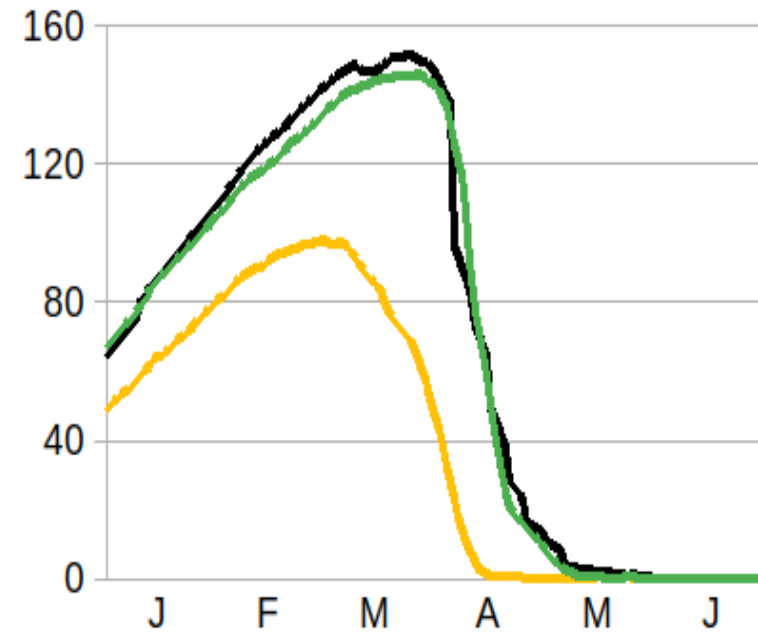


Совершенствование описания гидрологических процессов в модели ИВМ РАН-МГУ



Средний слой стока половодья, мм
(реки бассейнов Сев. Двины,
Печоры)

- наблюдения
- модель, исходная
- модель, усовершенствованная

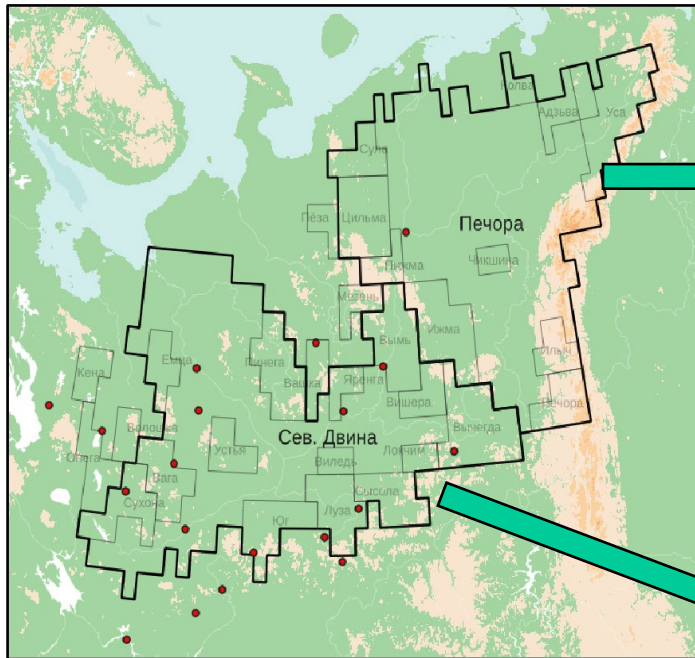


Средний влагозапас в снежном
покрове в поле, мм
(Сев. Двина, Печора)

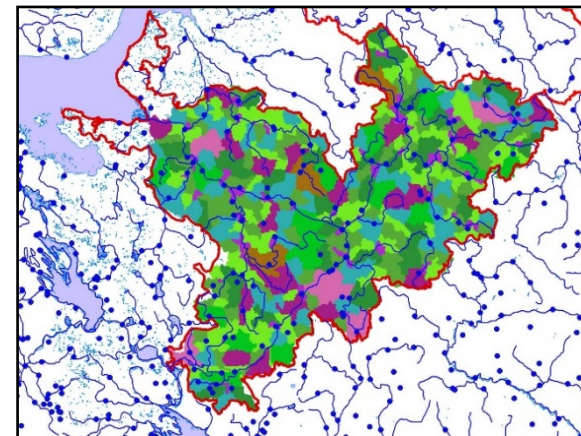
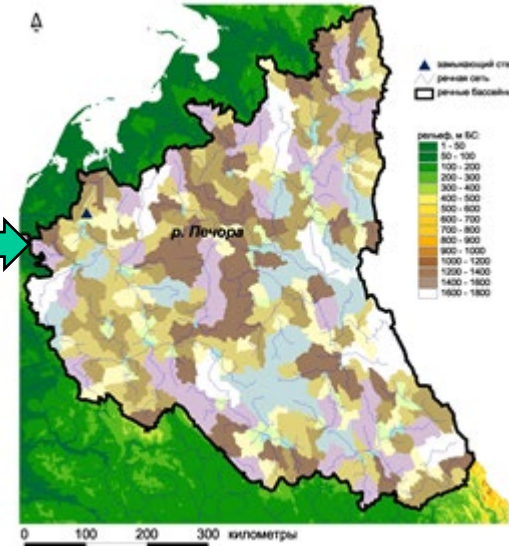
- наблюдения
- модель, исходная
- модель, усовершенствованная

Совершенствование описания гидрологических процессов в модели ИВМ РАН-МГУ

Переход от регулярной широтно-долготной сетки к схематизации по элементарным водосборам, широко используемой в гидрологическом моделировании.



Схематизация водосбора и речной сети на регулярной сетке (ИВМ РАН-МГУ)

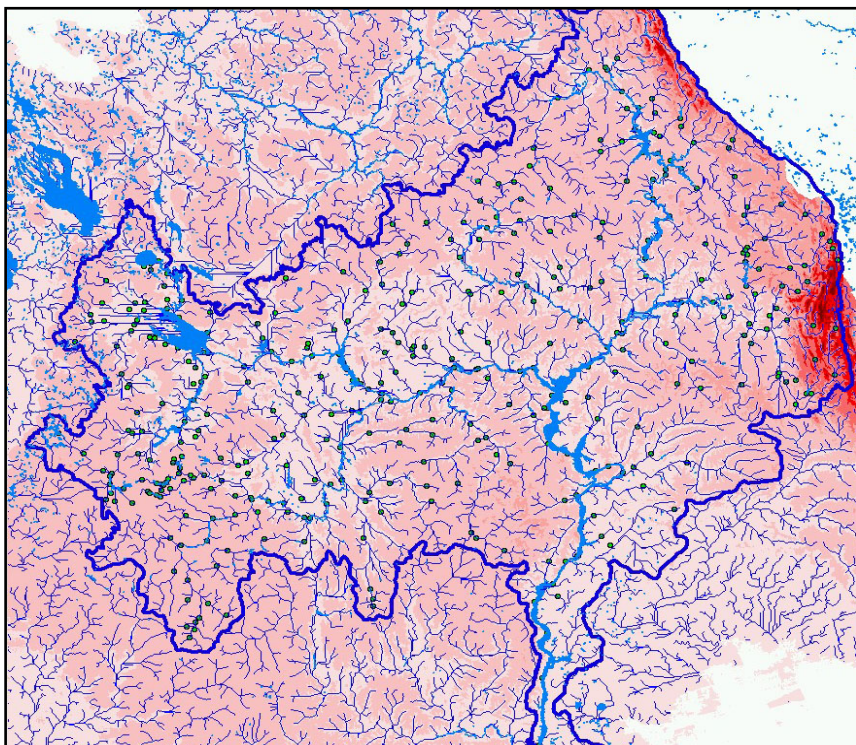


Схематизация водосбора и речной сети в гидрологической модели ECOMAG

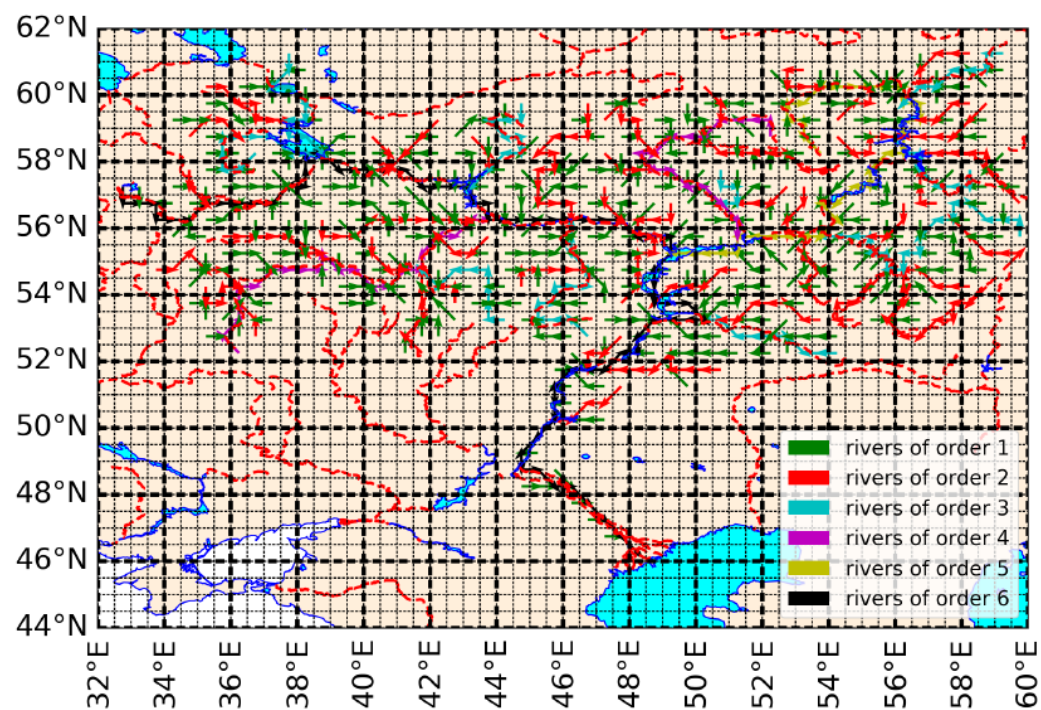
Совершенствование описания гидрологических процессов в модели ИВМ РАН-МГУ

Поскольку модель деятельного слоя суши использует расчетные ячейки 0.5 x 0.5 градус был модернизирован алгоритм построения речной сети по соответствующим ЦМР с трапецеидальными ячейками вместо ранее использованных квадратных ячеек 1 кмх1км.

Схематизация речной сети
бассейна Волги в модели
ECOMAG

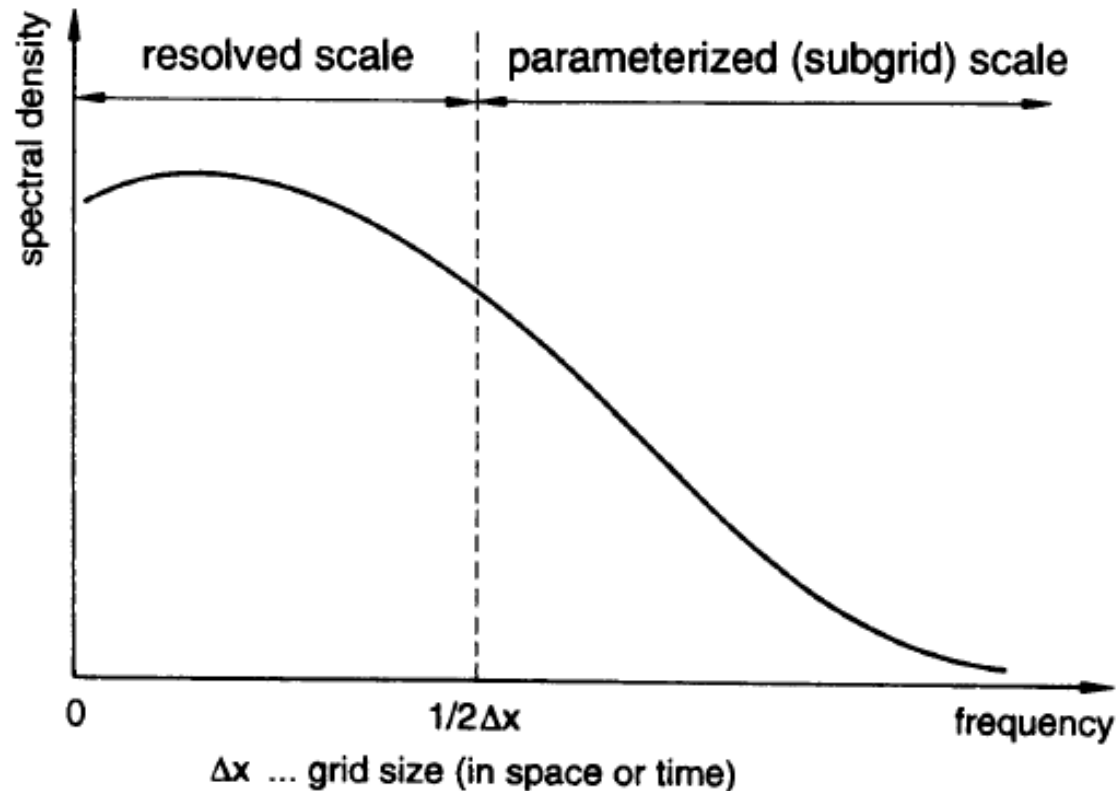


Схематизация речной сети
бассейна Волги в модели
ИВМ РАН-МГУ



О возможностях уточнения расчета речного стока в модели ДСС: взгляд гидролога

2. Подсеточная изменчивость характеристик подстилающей



Спектр гидрологического процесса. Процессы с характерным масштабом изменчивости большим чем масштаб элемента расчетной сетки разрешаются явным образом, изменчивость подсеточного масштаба описывается неявным образом (методами параметризации)

О некоторых возможностях уточнения расчета речного стока в модели ДСС (из опыта гидрологического моделирования)

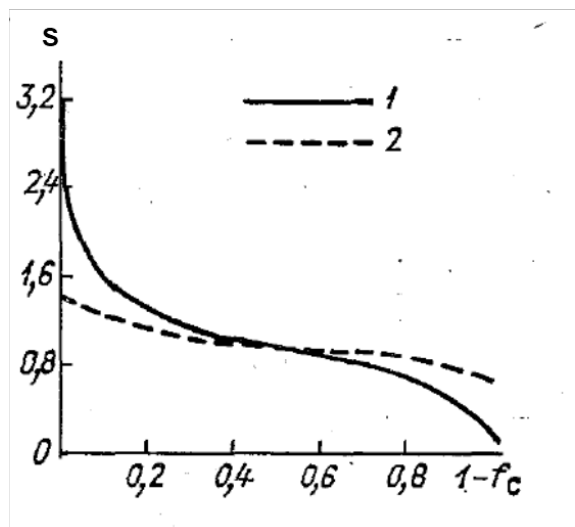
2. Совершенствование методов описания подсеточной изменчивости впитывающей способности почвогрунтов, глубины зоны аэрации почвы, характеристик снежного покрова, промерзания почвы.

В современной версии модели ДСС покрытость площади расчетной ячейки снегом задается в виде линейной зависимости от средней по ячейке высоты снежного покрова

$$f_{\text{snow}} = \max \left[0.01, \min \left(\frac{S_{\text{we}}}{S_{\text{we,cr}}}, 0.9 \right) \right] \quad S_{\text{we,cr}} = 0.4 \text{ cm}$$

При построении гидрологических моделей оказались эффективными подходы, использующие представление о типовых распределениях вероятности характеристик снежного покрова на разных типах подстилающей поверхности.

«Типовая» кривая распределения запаса воды в снежном покрове для равнинного водосбора



Интегральные кривые распределения запаса воды в снежном покрове (1 — открытая местность, 2 — хвойный лес)

$$F(S) = \int_0^S \frac{\alpha^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} \exp(-\alpha x) \alpha dx$$

$$S = SWE / SWE_{\text{cp}}$$

$$\alpha = C_v^{-2}$$

$C_v = 0.45$ (для равнинной открытой территории)

$C_v = 0.2-0.3$ (для густого хвойного леса)

О некоторых возможностях уточнения расчета речного стока в модели ДСС (из опыта гидрологического моделирования)

2. Совершенствование методов описания подсеточной изменчивости впитывающей способности почвогрунтов, глубины зоны аэрации почвы, характеристик снежного покрова, промерзания почвы .

Зависимость подсеточной вариации снежного покрова от размера и формы подсеточной области (Kuchment, Gelfan, 2001; Гельфан, 2007)

Дисперсия точечной переменной внутри подсеточной площади F

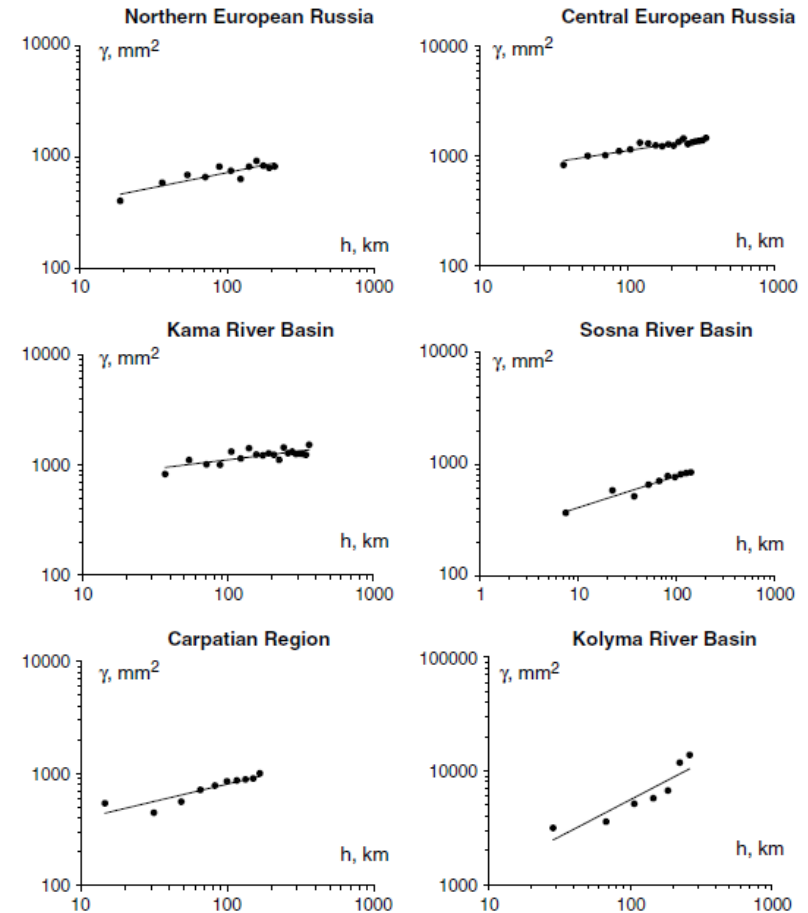
$$\sigma_F^2 = \frac{1}{F} \int_F [S(x) - m_F]^2 dx$$

Дисперсия точечной переменной для случая поля со стационарными приращениями определяется видом структурной функции

$$\sigma_F^2 = \frac{1}{F} \int_F [S(x) - m_F]^2 dx = \frac{1}{F^2} \iint_F \gamma(x_i - x_j) dx_i dx_j$$

Для степенной структурной функции $\gamma \sim h^\alpha$ ($0 < \alpha < 2$) и подобных прямоугольных ячеек отношение дисперсий

$$\frac{\sigma_F^2}{\sigma_f^2} = \left(\frac{F}{f} \right)^{\alpha/2}$$



Power variograms of the snow water equivalent for scales from tens to hundreds kilometres (Kuchment, Gelfan, 2001)

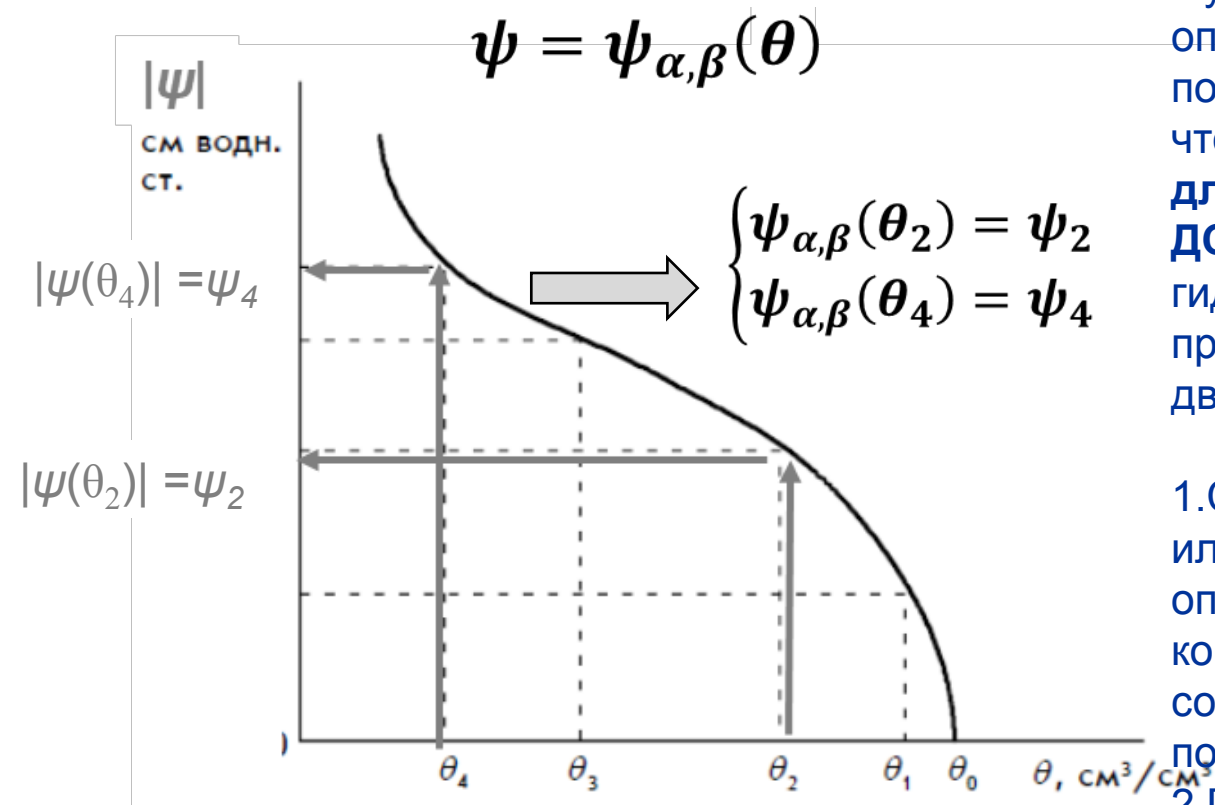
О некоторых возможностях уточнения расчета речного стока в модели ДСС (из опыта гидрологического моделирования)

3. Задание основной гидрофизической характеристики и влагопроводности почвы по почвенно-гидрологическим константам

Функции ОГХ и влагопроводности определяются по механическому составу почвы с существенными погрешностями, что не позволяет **выбрать наилучшую РТФ для описания влагопереноса в модели ДСС** (Рязанова и др., 2023) В гидрологическом моделировании эта проблема решается с помощью двухшаговой процедуры (Гельфан, 2007):

1. С помощью РТФ оцениваются не ОГХ или влагопроводность, а 2-3 надежно определяемые почвенно-гидрологические константы (НВ, ВЗ, МГ), которым соответствует определенное давление почвенной влаги

2. По 2-3 точкам рассчитываются параметры широко распространенных формул для ОГХ или влагопроводности (Брукса-Корри, ван Генухтена и др.)



О некоторых возможностях уточнения расчета речного стока в модели ДСС (из опыта гидрологического моделирования)

Пример: определение параметров формулы ван Генухтена по почвенно-гидрологическим константам (Gelfan, 2006)

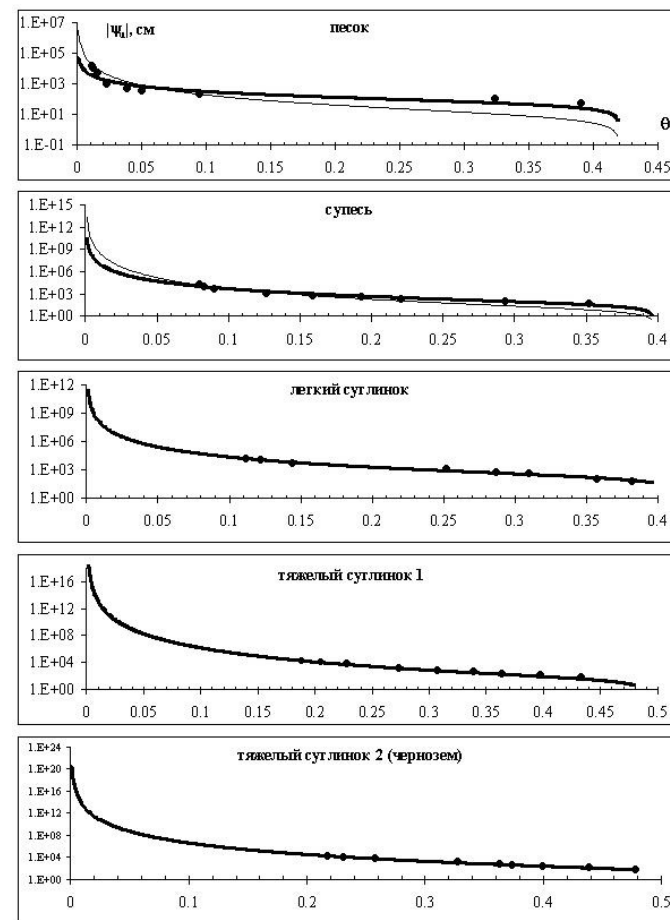
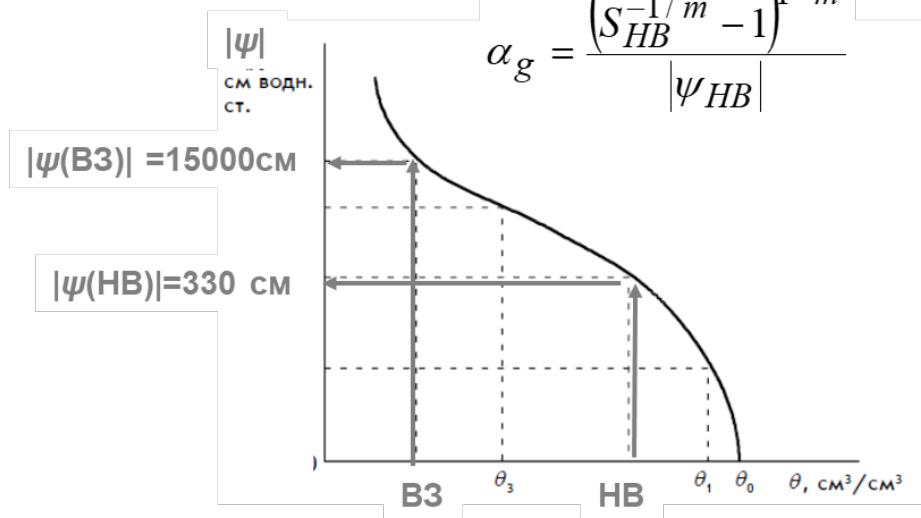
$$\psi_{\square} = - \frac{\left(S_{\square}^{-1/m} - 1 \right)^{1/n}}{\alpha_g}$$

$$S_{\square} = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

$$m = 1 - \frac{1}{n}$$

$$\log \frac{\psi_{HB}}{\psi_{B3}} = (1-m) \log \frac{S_{HB}^{-1/m} - 1}{S_{B3}^{-1/m} - 1}$$

$$\alpha_g = \frac{\left(S_{HB}^{-1/m} - 1 \right)^{1-m}}{|\psi_{HB}|}$$



Сравнение ОГХ разных почв, измеренных в геофизической лаборатории ГГИ (Калужный и др., 1988) и рассчитанных по почвенно-гидрологическим константам

Калибровка моделей деятельного слоя суши

- Land surface schemes are being developed by increasing spatial resolution and adding new physical and biogeochemical processes;
- The model contains **dozens of parameters**; many parameters are not directly measurable (have a phenomenological character) or are measured with a large error;
- The high resolution and the presence of many computational units limits the ability to calibrate (identify) the system of equations using Monte Carlo-type or gradient descend methods;
- The shape of parameter dependence on physical state variables may be unknown;

Are neural networks a pertinent

arXiv.org > stat > arXiv:1909.04196

Search...

Help | Advanced S

Statistics > Applications

[Submitted on 9 Sep 2019 (v1), last revised 17 Mar 2020 (this version, v2)]

Machine learning accelerates parameter optimization and uncertainty assessment of a land surface model

Yohei Sawada

ASU
ADVANCING EARTH
AND SPACE SCIENCE

ASU
MEETING
Online Everywhere | 1-17 December 2020

Journal of Geophysical Research: Atmospheres | Volume 125, Issue 22
Research Article | A Free Article

A machine learning approach to emulation and biophysical parameter estimation with the Community Land Model, version 5

Katherine Dagon¹, Benjamin M. Sanderson^{1,2}, Rosie A. Fisher^{1,2}, and David M. Lawrence¹

¹National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, USA

²CERFACS, Toulouse, France

Correspondence: Katherine Dagon (kdagon@ucar.edu)

Received: 01 Mar 2020 – Revised: 19 Oct 2020 – Accepted: 27 Oct 2020 – Published: 22 Dec 2020