

Многолетняя мерзлота в бассейне Каспия как возможный триггер поздней Хвалынской трансгрессии: проверка гипотезы с помощью модели формирования стока Волги

А.Н. Гельфан, А.С. Калугин

Институт водных проблем РАН

«Колебания уровня Каспия в позднем плейстоцене - раннем голоцене: масштабы, датировки, возможные механизмы», ИВП РАН 11.11.2020

Содержание

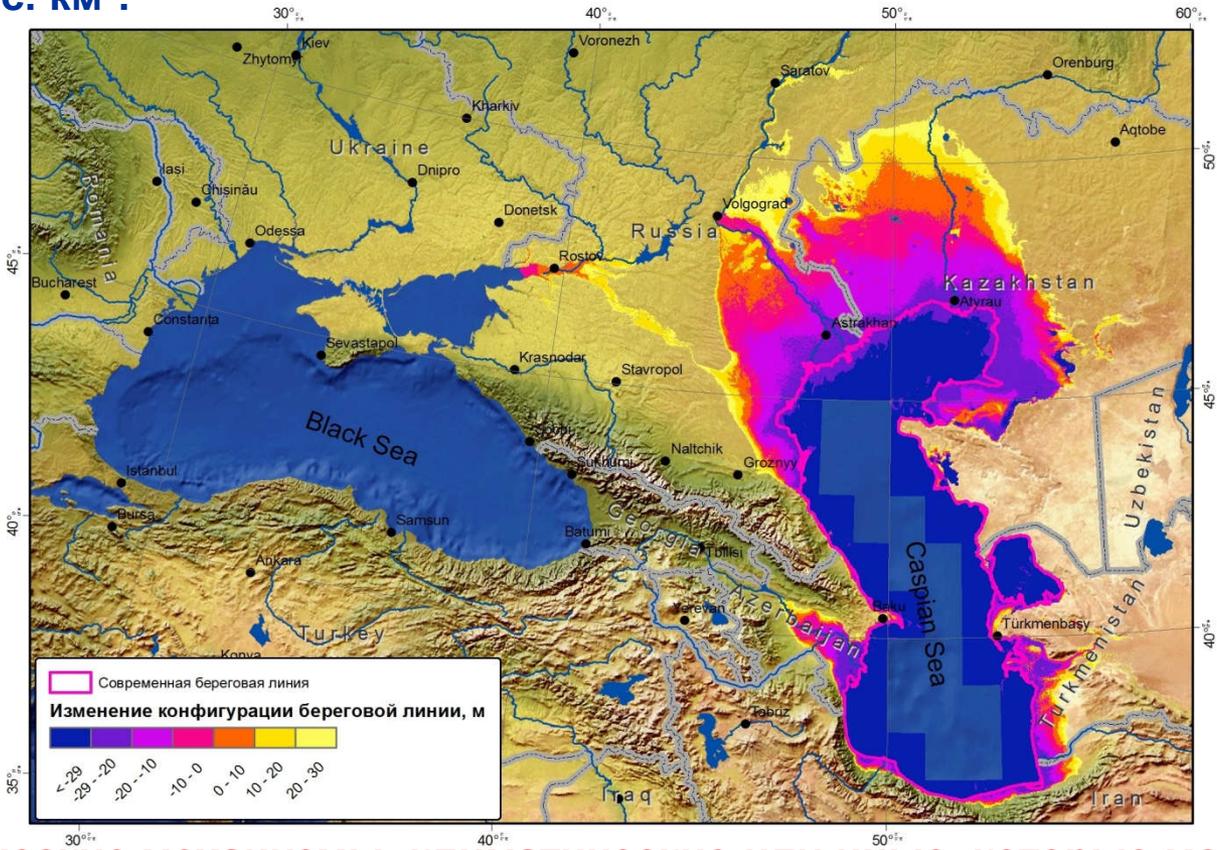
- 1. Мотивация исследования и обоснование рабочей гипотезы.**
- 2. Модель формирования речного стока в бассейне Волги: структура, результаты тестирования**
- 3. Организация и результаты численных экспериментов по оценке влияния многолетнемерзлых пород на формирование речного стока**
- 4. Заключение**

Мотивация

1. Мотивация исследования и обоснование рабочей гипотезы

Современные палеогеографические данные дают основания утверждать, что в позднеледниковье, как и в течение всей валдайской ледниковой эпохи, амплитуда колебаний уровня Каспия составляла десятки метров, что в разы превышает колебания уровня моря в голоцене.

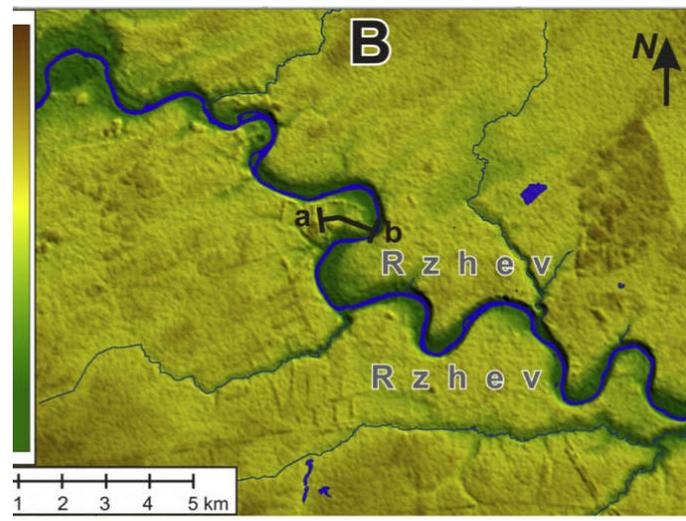
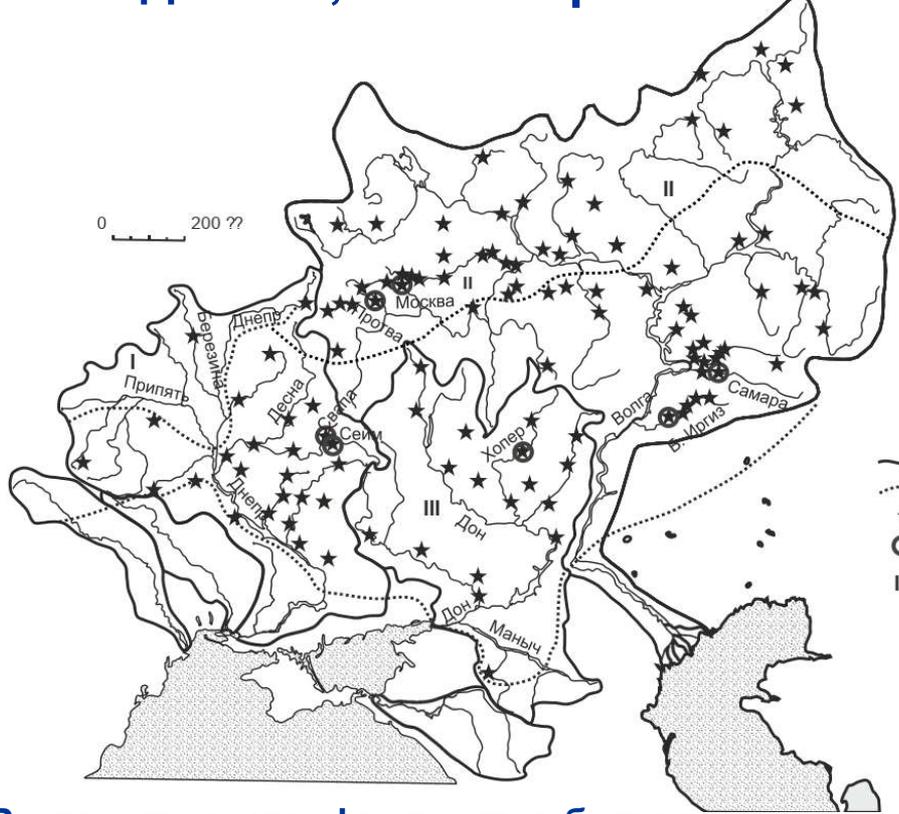
Позднехвалынская трансгрессивная стадия в период своего максимального развития имела уровень около 0 м абс. высоты. Площадь - 661 тыс. км².



Физические механизмы, климатические или иные, которые могли стать причиной позднехвалынской трансгрессии моря, не установлены.

Обоснование рабочей гипотезы

В долинах рек южного склона Русской равнины, в том числе в бассейне Волги, распространены следы древних русел, морфометрические параметры которых на порядок превышают размеры современных русел и которые могли быть сформированы палеореками, значительно большими по водности, чем современные



Large meanders at the Rzhev town (from Panin et al., 2020)

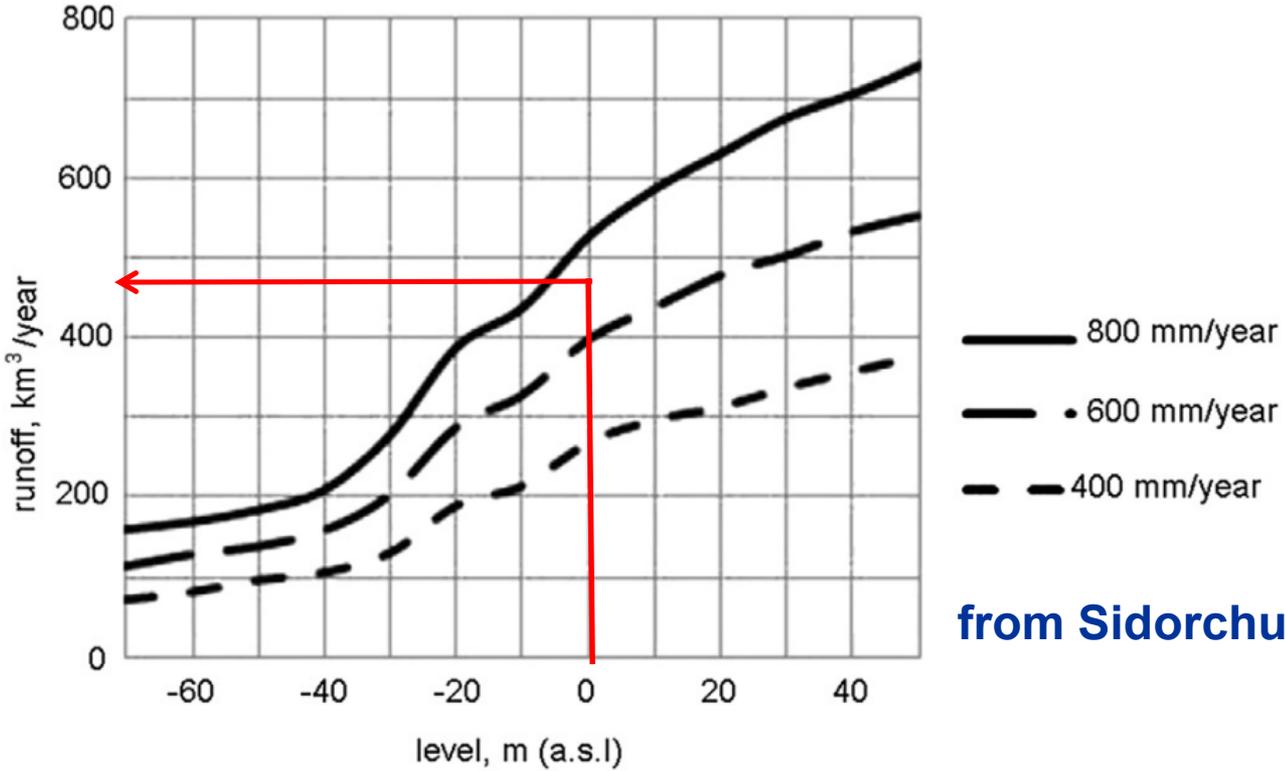
Распространение фрагментов больших поздневалдайских палеорусел на южном мегасклоне Восточно-Европейской равнины (Сидорчук и др., 2010)

Обоснование рабочей гипотезы

1. Мотивация исследования и обоснование рабочей гипотезы

Согласно реконструкциям (Сидорчук и др., 2000; Сидорчук, Панин, 2017; Сидорчук и др., 2018, Panin, Matlakhova, 2015) **годовой сток древних рек Русской равнины мог быть в 2-4 раза больше современного**

Оценка притока речных вод в Каспий, рассчитанная для максимального уровня позднехвалынской трансгрессии моря, составляет порядка **500 км³/год** (Sidorchuk et al., 2009; Yanko-Nombach, Kislov, 2018), т.е. приблизительно в 2 раза выше современного речного притока в море



from Sidorchuk et al., 2009

Обоснование рабочей гипотезы

Таким образом, гипотезы формирования позднехвалынской трансгрессии могут быть сведены к рассмотрению возможных источников более чем двукратного увеличения водности рек на водосборной площади Каспийского моря (Торопов, Кислов 2006; Сидорчук и др., 2010; 2017; Yanko-Nombach, Kislov, 2018).

Каковы источники дополнительной водности палеорек?

Обоснование рабочей гипотезы

Возможные источники дополнительной водности палеорек

1. Климатические факторы: рост осадков и снижение испарения на водосборной площади (**contra**: Sima et al., 2013; Kislov, Toropov, 2011; Yanko-Hombach, Kislov, 2018 и другие)
2. Гляциологические факторы : вклад талых ледниковых вод (**contra**: Торопов, Кислов 2006; Tudrin et al., 2016; Сидорчук, Панин, 2017; Panin et al., 2020 и другие)
3. Геоморфологические факторы : существенные изменения площади водосбора верхней Волги и Оки и перелив ледниково-подпрудных вод из соседних бассейнов (**contra**: Sidorchuk et al., 2009; Panin et al., 2020 и другие)
4. Гидрологические факторы: изменения условий формирования речного стока, обусловленные влиянием многолетнемерзлых пород (**pro**: Kislov, Toropov, 2007; Sidorchuk et al., 2009; Yanko-Hombach, Kislov, 2018)
contra-?)

Рабочая гипотеза

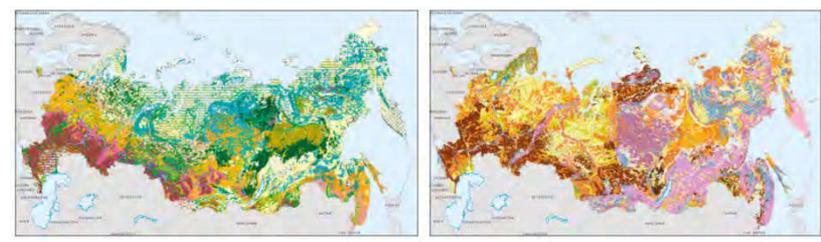
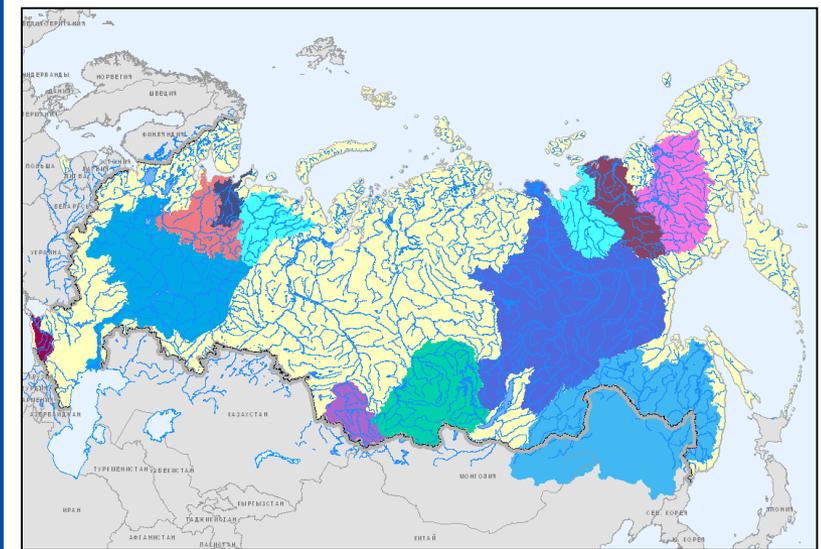
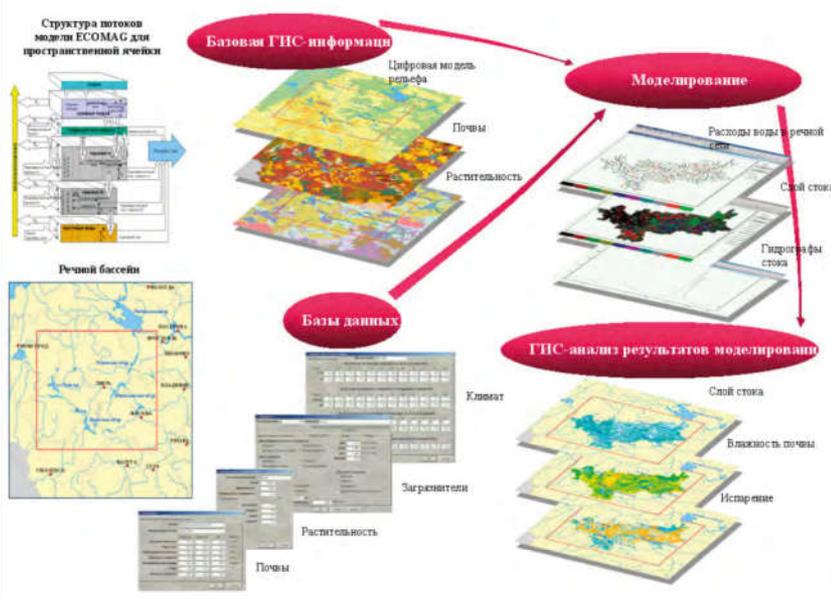
На водосборе Волги (в его современных границах, при поступлении на него осадков, соответствующих современному климату и при гипотетическом распространении на водосборе многолетнемерзлых пород) может сформироваться речной сток, намного (в 1.5-2 раза) превышающий современный

Цель исследования

проверка гипотезы путем численных экспериментов с физико-математической моделью формирования речного стока в бассейне Волги

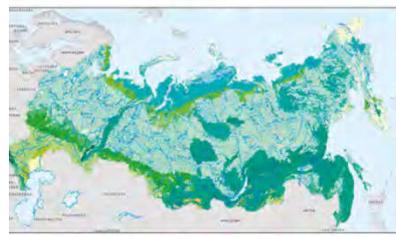
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ МОДЕЛИРУЮЩИЙ КОМПЛЕКС ЕСОМАГ*

2. Модель формирования речного стока в бассейне Волги



Типы почв

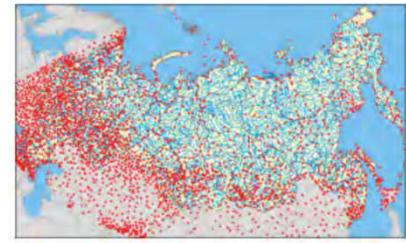
Механический состав почв



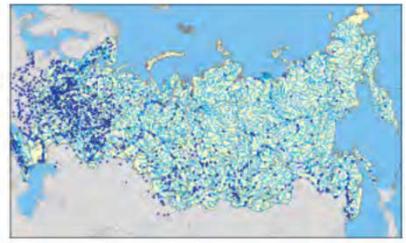
Основные типы ландшафтов



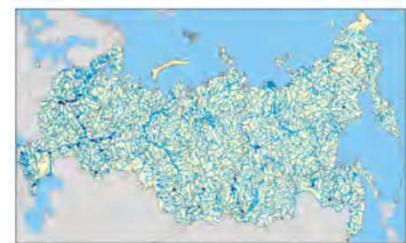
Цифровая модель рельефа



Метеорологические посты



Гидрологические посты



Гидроузлы

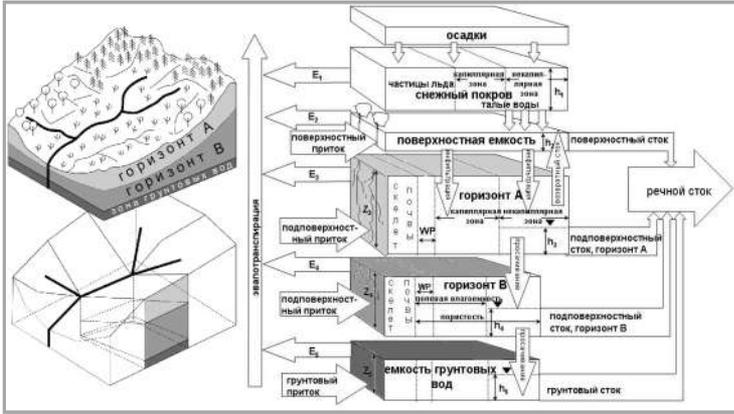
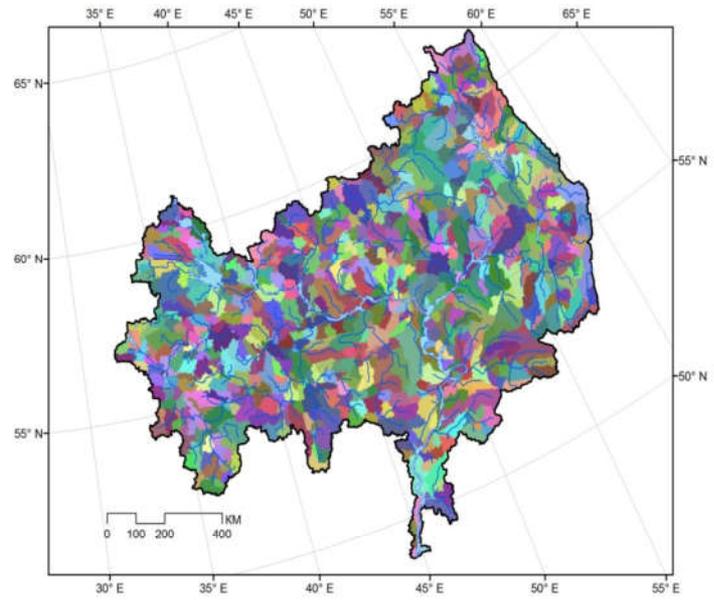


Агрометеорологические посты
и снегомерные маршруты

Motovilov Y. et al. (1999) ECOMAG – regional model of hydrological cycle. Application to the NOPEX region. Dep. Geoph. Univ. Oslo, Institute Report Series no.105, 88 p.

Модель формирования стока р. Волги на базе ИМК ЕСОМАГ

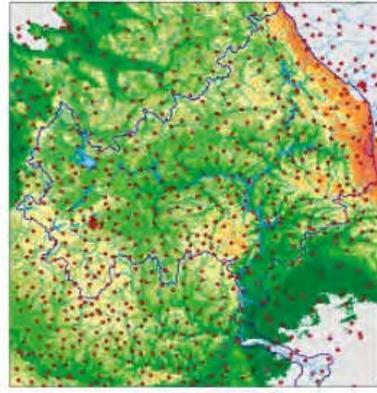
2. Модель формирования речного стока в бассейне Волги



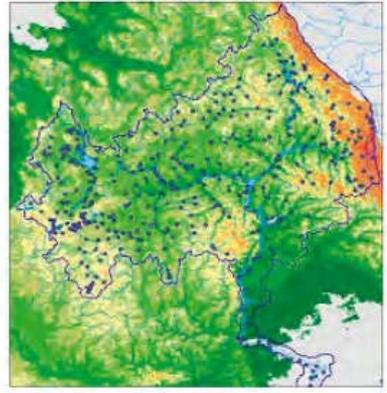
Цифровая модель рельефа



Ландшафтная карта



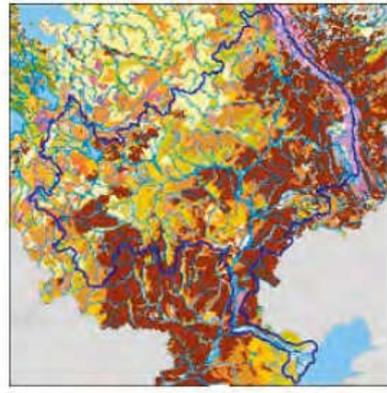
Метеорологические станции



Гидрологические посты



Типы почв

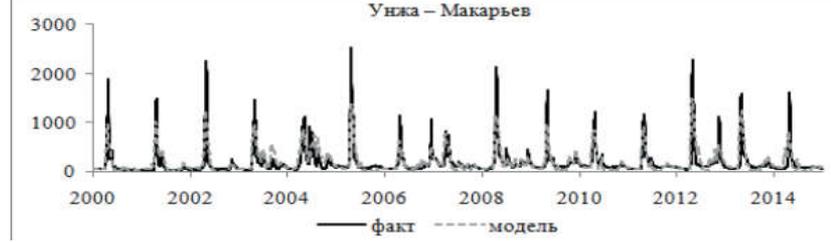
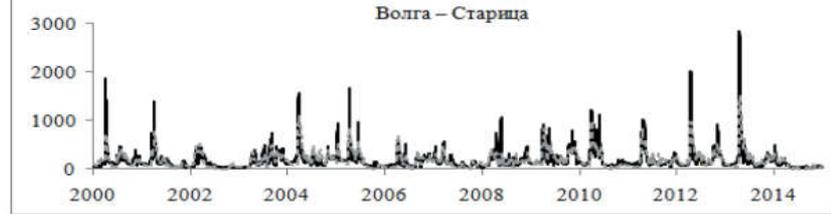
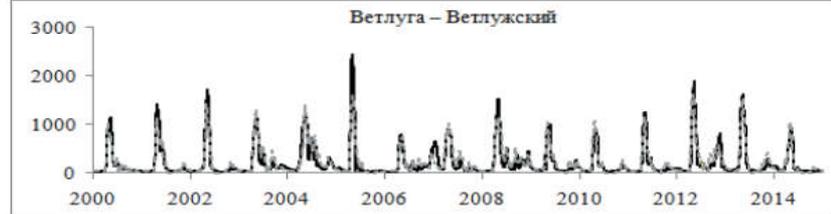
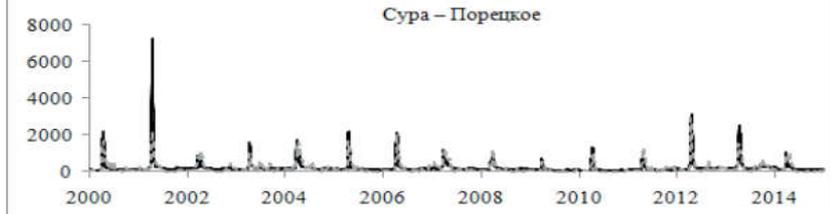
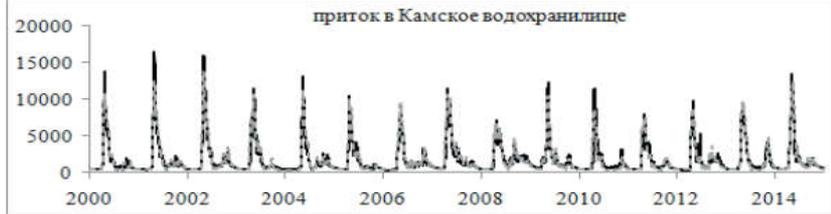
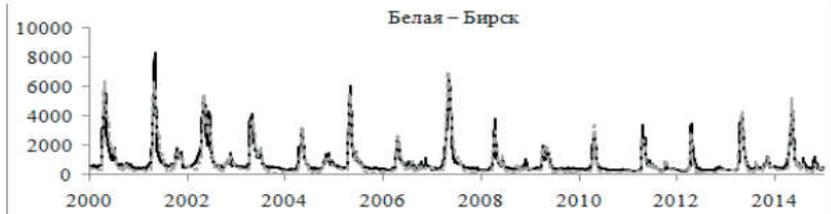
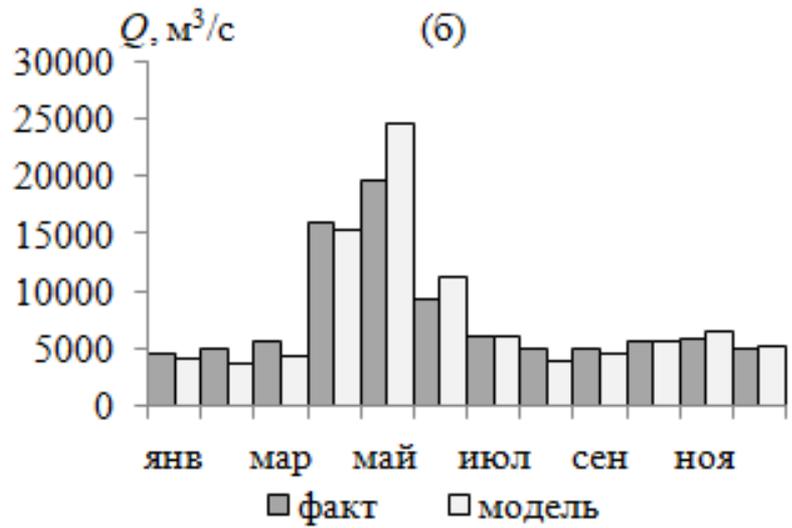
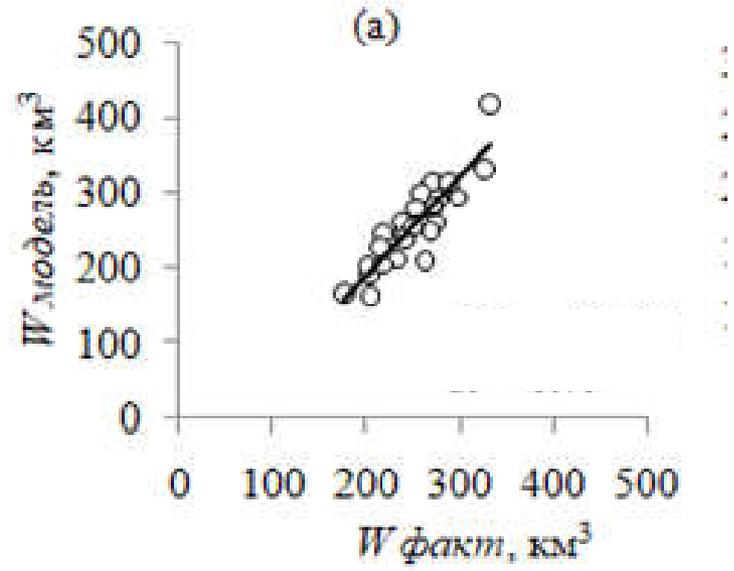


Механический состав

Калугин А.С. Единая гидрологическая модель Волжского бассейна // Сб.тр. «Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения». М.: Студия Ф1. 2019. С. 155–160.

Тестирование модели (по данным 1986-2014 гг.)

2. Модель формирования речного стока в бассейне Волги

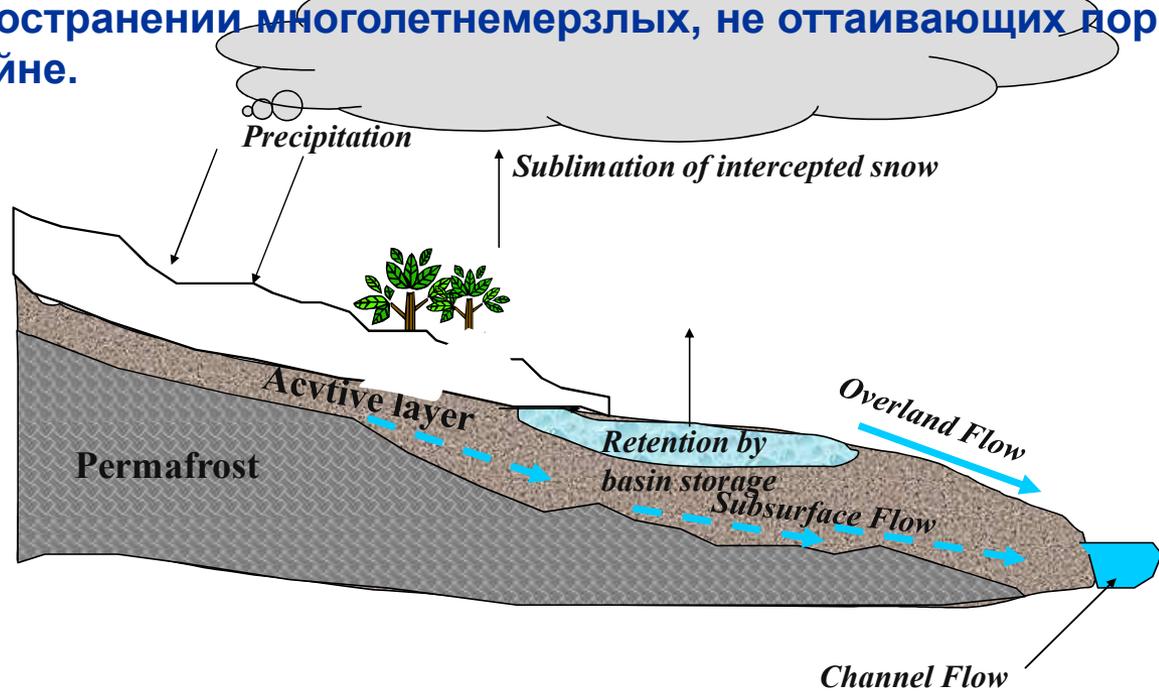


Организация численных экспериментов

3. Организация и результаты численных экспериментов

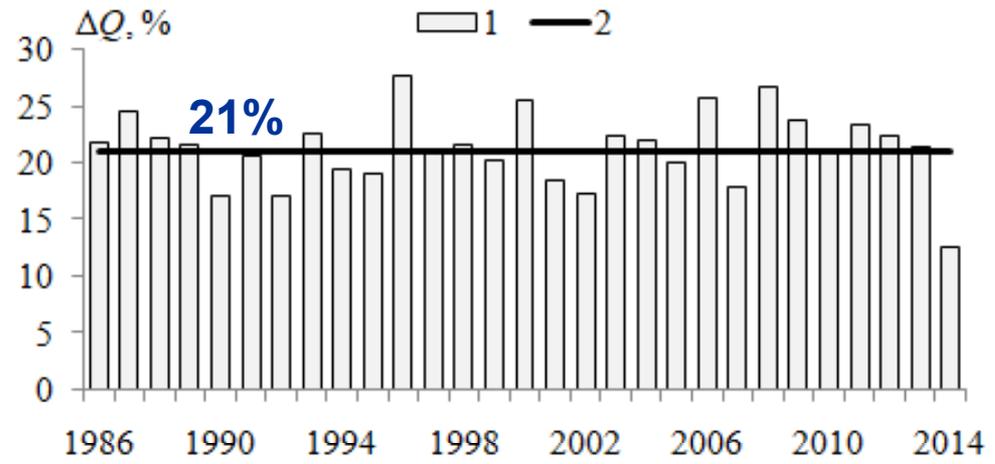
В первом эксперименте моделировалось сезонное оттаивание почвогрунтов после схода снега и процессы тепло- и влагопереноса в сезонноталом слое, подстилаемом мерзлыми породами. Этот эксперимент давал возможность оценить эффект гипотетического распространения многолетнемерзлых пород на формирование речного стока в бассейне Волги в условиях современного климата.

Во втором эксперименте расчетное оттаивание почвогрунтов искусственно тормозилось, и талодождевые воды поступали на поверхность водосбора, занятого мерзлыми породами в течение всего расчетного периода. Этот эксперимент давал возможность оценить максимально возможный рост водности реки при гипотетическом распространении многолетнемерзлых, не оттаивающих пород в ее бассейне.

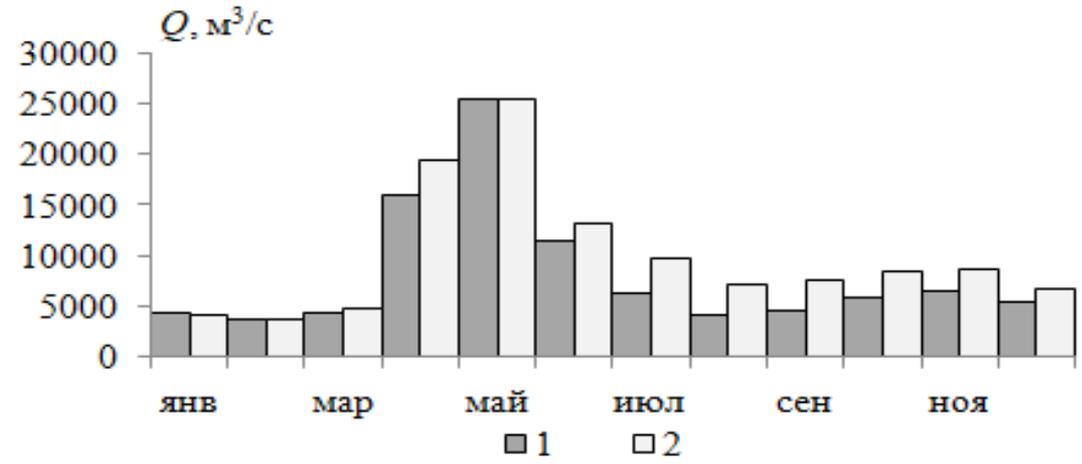


Результаты эксперимента 1: расчет стока с учетом оттаивания многолетнемерзлых пород в теплый период

3. Организация и результаты численных экспериментов



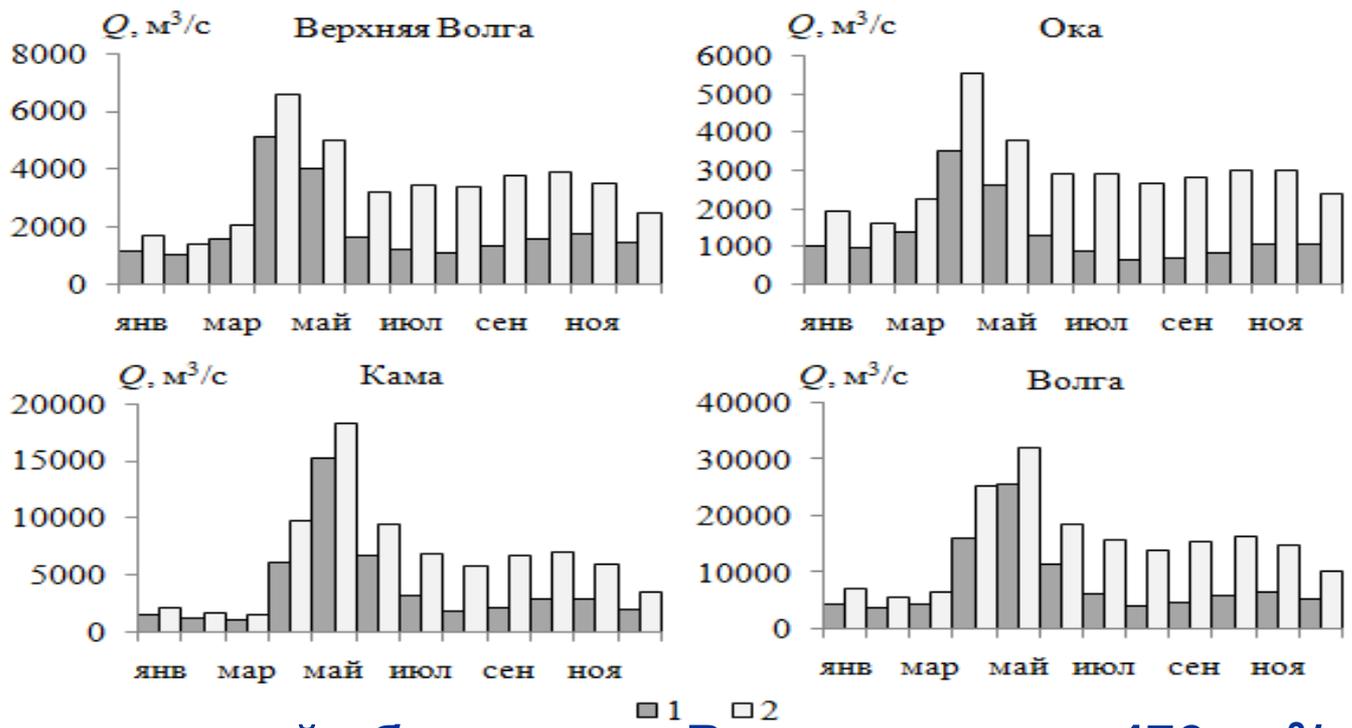
Относительные изменения (%) годового стока Волги



Норма рассчитанного среднемесячного стока Волги (1- базовый расчет; 2 – расчет в условиях мерзлоты)

Результаты эксперимента 2: расчет стока без учета оттаивания многолетнемерзлых пород в теплый период

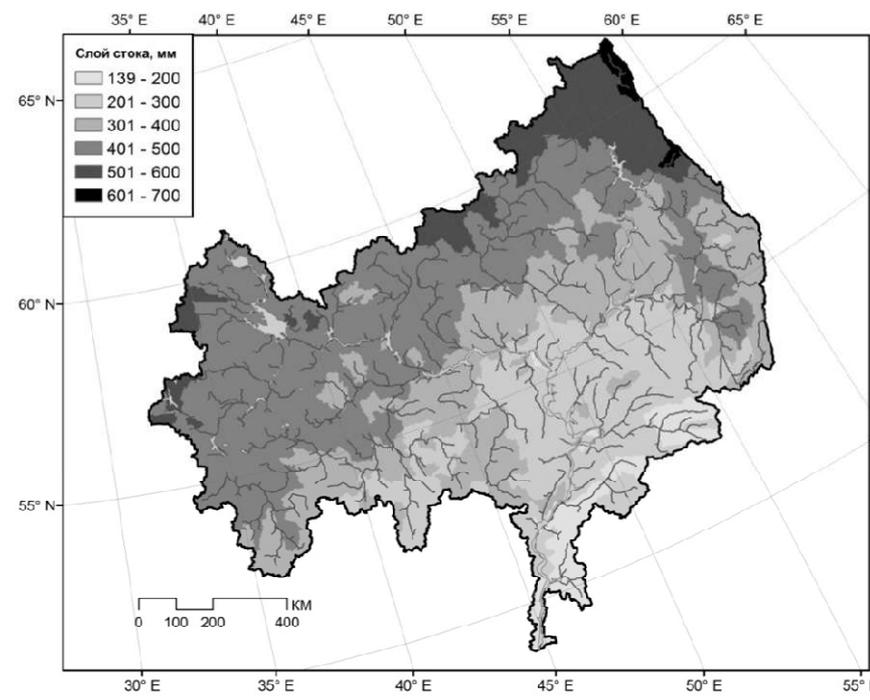
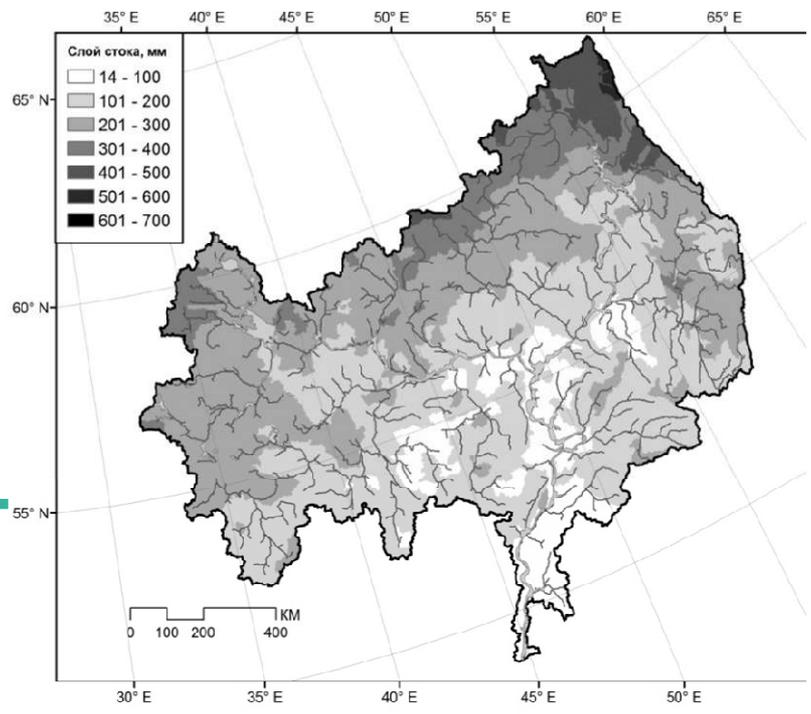
В какой степени гипотетически может вырасти сток с современного водосбора Волги, покрытого многолетнемерзлыми породами, при режиме поступления на его поверхность талых и дождевых вод, соответствующим современному климату?



Рассчитанный объем стока Волги оказался 476 км³/год, т.е. на 85% выше рассчитанного при современных условиях.

Результаты эксперимента 2: расчет стока без учета оттаивания многолетнемерзлых пород в теплый период

3. Организация и результаты численных экспериментов

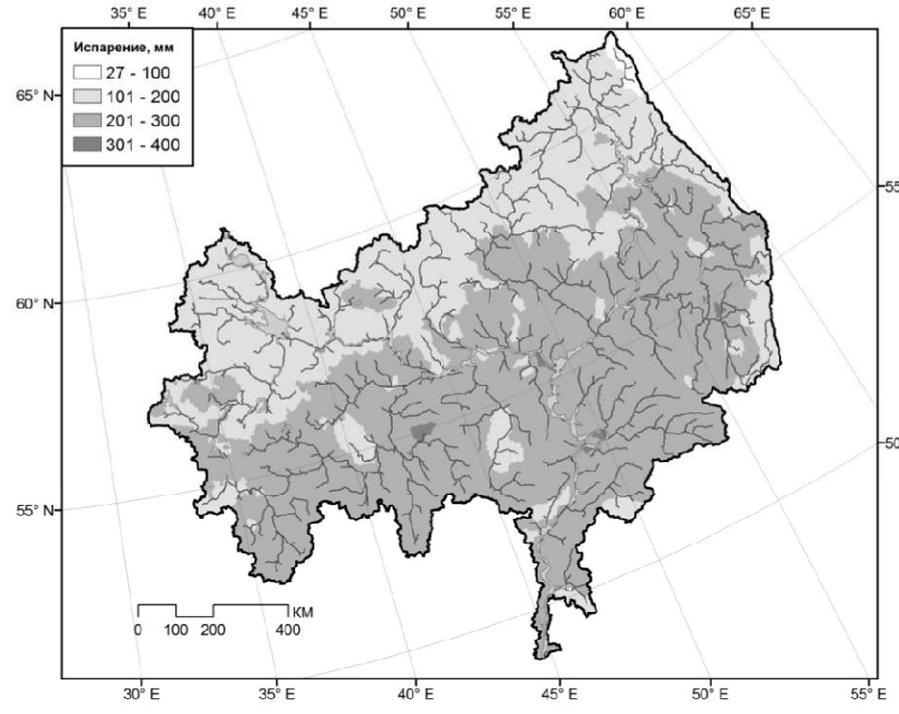
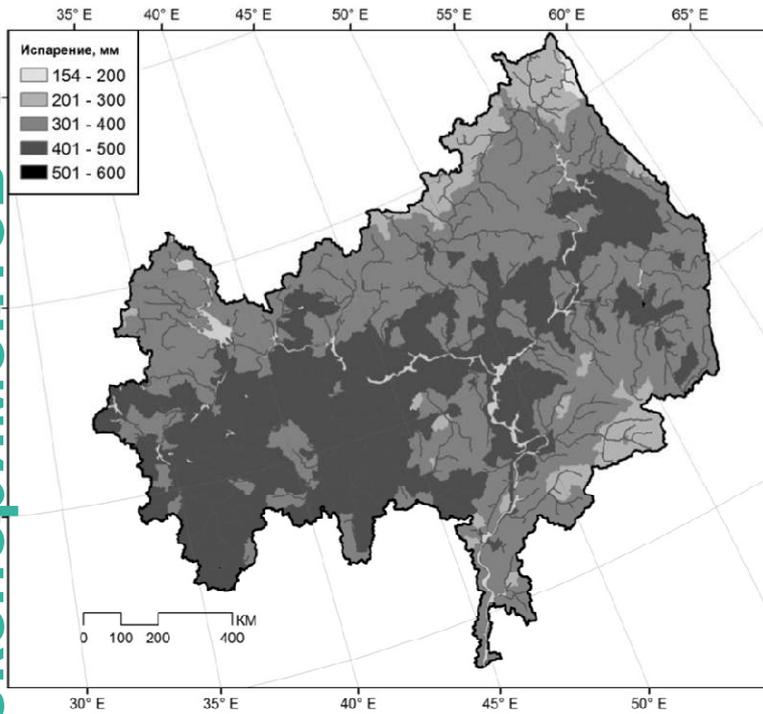


Среднегодовой слой речного стока, рассчитанного при современных условиях (слева) и в гипотетических условиях глубокого промерзания водосбора р.Волги (справа)

Наибольший сток (свыше 500 мм в год) формируется в северо-восточной части бассейна (реки Вишера, Чусовая и верховья Камы).

Результаты эксперимента 2: расчет стока без учета оттаивания многолетнемерзлых пород в теплый период

3. Организация и результаты численных экспериментов



Среднемноголетний слой суммарного испарения, рассчитанного при современных условиях (слева) и в гипотетических условиях глубокого промерзания водосбора р.Волги (справа)

Небольшие потери стока на инфильтрацию в глубоко промерзшую почву приводят к снижению влажности почвы и росту ее льдистости. Как результат, норма суммарного испарения не превышает 200 мм/год, т.е. почти вдвое меньше суммарного испарения при современном климате.

Заключение

1. Количественно оценена физическая обоснованность гипотезы, объясняющей палеогеографические данные об огромной водности рек на водосборе Каспийского моря в период формирования позднехвалынской трансгрессии распространением на этом водосборе послеледниковой многолетней мерзлоты
2. Глубокое промерзание почвогрунтов в сочетании с их сезонным оттаиванием увеличивает средний годовой сток Волги примерно на 20% (коэффициент стока вырастает с 0.36 до 0.44).
3. Максимальный среднемноголетний сток Волги, возможный при отсутствии сезонного оттаивания многолетнемерзлых почвогрунтов, составляет 476 км³/год, т.е. сток оказался на 85% выше рассчитанного при современных условиях. Эта величина близка к оценке притока речных вод в Каспий, рассчитанной для максимального уровня позднехвалынской трансгрессии моря (Sidorchuk et al., 2009; Yanko-Nombach, Kislov, 2018).
4. Слой максимально возможного речного стока, который может сформироваться в условиях глубокого промерзания современного водосбора Волги, неравномерно распределен по его площади. Наибольший возможный слой стока формируется в северо-восточной части бассейна (реки Вишера, Чусовая и верхняя Кама) и превышает 500 мм в год

Основной вывод

4. Заключение

Если предполагать, что климатические условия на современной территории водосбора Волги в период формирования позднехвалынской трансгрессии Каспия были близки к современным, то повышенная по сравнению с современной водность рек может быть отчасти объяснена распространением на этом водосборе послеледниковой многолетней мерзлоты. Вместе с тем, увеличение нормы стока оказывается незначительным (порядка 20%) и не соответствует огромному притоку (свыше 450 км³ в год), оцененному по палеогеографическим данным. Такой приток может быть сформирован при современной величине осадков в отсутствие сезонного оттаивания мерзлого водосбора, т.е. при пониженной по сравнению с современной температуре воздуха. Возможность такого сочетания климатических факторов и условий формирования стока в бассейне Каспия – предмет дальнейших исследований, требующих привлечения палеоклиматических данных.

**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ**



Рабочая гипотеза

На водосборе Волги (в его современных границах и при поступлении на него осадков, соответствующих современному климату, но при гипотетическом распространении на водосборе многолетнемерзлых пород) может сформироваться речной сток, намного (в 1.5-2 раза) превышающий современный

Цель исследования

проверка гипотезы путем численных экспериментов с физико-математической моделью формирования речного стока в бассейне Волги

Обоснование рабочей гипотезы

1. Мотивация исследования и обоснование рабочей гипотезы

Цель настоящего исследования - оценка значимости эффекта гипотетического распространения многолетней мерзлоты на современном водосборе Волги и в современных климатических условиях с помощью физико-математической модели формирования речного стока

Обоснование рабочей гипотезы

**Цель настоящего исследования -
ответ на вопрос:
может ли на водосборе Волги в его
современных границах и при
поступлении на него осадков,
соответствующих современному
климату, сформироваться речной
сток, намного превышающий
современный из-за гипотетического
распространения на водосборе
многолетнемерзлых пород?**