

РАЗВЕРНУТЫЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ (Копия формы 503)

Номер Проекта

14-05-00700

3.2 Название Проекта

Оценка и прогноз влияния климатических изменений на гидрологический цикл, водный баланс и режим увлажненности территории Западной Сибири (зональные, региональные и локальные аспекты) с учетом обратных связей, генерируемых изменением характеристик ландшафта по мере изменения климата

3.3 Коды классификатора, соответствующие содержанию фактически проделанной работы (в порядке значимости) (поле заполняется автоматически, коды вносятся из заявки)

05-730, 05-740, 05-715

3.4 Объявленные ранее цели Проекта

Оценка и прогноз влияния климатических изменений на гидрологический цикл, водный баланс и режим увлажненности территории Западно-Сибирской равнины в зональном, региональном и локальном масштабах, с учетом обратных связей, генерируемых изменением характеристик ландшафта по мере изменения климата.

1. Обзор и анализ существующих отечественных и зарубежных моделей расчета характеристик увлажненности территории и их временной изменчивости на основе климатической информации, отбор наиболее оптимальных моделей и баз данных.
2. Создание (или пополнение) баз данных многолетних наблюдений, необходимых для выполнения расчетов и прогнозов гидрометеорологического режима.
3. Определение ключевых участков для гидрометеорологических наблюдений и их оборудование измерительной техникой.
4. Расчет многолетних рядов характеристик, отражающих режим и временную динамику ресурсов тепла и влаги с сопоставлением полученных разными методами результатов и их контролем и анализом.
5. Наблюдения на ключевых участках и объектах.
6. Обобщение результатов расчетов, построение карт и динамических рядов характеристик тепловлагообеспеченности территории, отдельных ландшафтных зон, ключевых участков и объектов, прогнозирование гидрологических последствий реализации выбранных сценариев вероятных изменений климата.

3.5 Полученные в ходе выполнения Проекта важнейшие результаты

1. Выбрана оптимальная модель, отвечающая задачам расчета и прогноза элементов водного баланса на локальном, региональном и зональном уровнях с разной степенью дискретности во времени при достаточно редкой сети метеонаблюдений. В качестве такой модели определена схема расчета водно-теплового баланса В.С.Мезенцева (метод гидролого-климатических расчетов, ГКР), имеющая небольшое число параметров и требующая достаточно ограниченное количество гидрометеорологической информации. Модель позволяет увязать данные специально организованных полевых наблюдений на малых водосборах с многолетними рядами гидрометеорологических характеристик в одну систему для исследования и прогноза гидрологических последствий изменения климата.

2. Собрана и пополняется база данных многолетних гидрометеорологических наблюдений, необходимых для выполнения расчетов и прогнозов гидрометеорологического режима территории и контроля модельных результатов. Опираясь на материалы используемой в проекте базы гидрометеоданных по состоянию на 2015 г., проведен более детальный анализ происходящих изменений климата и гидрологического режима малых и средних рек, результаты которого

использованы в процессе моделирования и для контроля модельных расчетов. На основе анализа изменчивости месячных температур воздуха и атмосферных осадков на метеостанциях Западной Сибири за период наблюдений от 1966 до 2015 гг., а также, с суточным разрешением, гидрографов стока малых и средних рек, получены новые данные об изменениях гидроклиматического режима территории. Выявлены особенности климатической изменчивости (прежде всего, за последние 30 лет по отношению к базовому предшествовавшему периоду), возможно, влекущие за собой обострение гидрологических рисков.

3. Организованы и проведены гидрометеорологические наблюдения (уровни, температура, сток воды и др.) на ключевых малых водосборах, которые оборудованы автономной измерительной техникой: 1) в лесотундре - ручей верхний левый приток р. Седэяха с площадью водосбора 19 км² (65°49'42" с.ш., 75°24'01" в.д.) в Ямало-Ненецком автономном округе на модельном участке Новый Уренгой – Пангоды, в зоне распространения многолетней мерзлоты; 2) в южной тайге - модельный водосбор (Северо-Алтайский) на междуречье рек Томь и Яя на юго-востоке Западно-Сибирской равнины. Водосбор ручья Корольковский площадью 1,99 км² находится в 30 км от Томска в северо-восточном направлении, в бассейне реки Киргизка и отвечает всем необходимым требованиям, предъявляемым к модельным водосборам, поэтому с 2015 года является базовым для проведения комплексного ландшафтно-гидрологического (экосистемного) мониторинга.

4. Разработана методика определения параметров модели ГКР: n , учитывающего интенсивность дренирования ландшафтов и формирования стока, и g , характеризующего способность почвы подводить воду к испаряющей поверхности и расходовать ее на испарение (зависит от гранулометрического состава грунта и водно-физических характеристик почвы, которые могут меняться в процессе изменения климата). Параметр n предложено определять, используя цифровые модели рельефа и вычисляемый по ним показатель увлажнения (Wetness Index) для однородных участков. Определена также динамика толщины деятельного слоя почвы в зависимости от климатических показателей. Выполнены пионерные расчеты временных рядов характеристик теплообеспеченности территории по ограниченному набору объектов (в бассейнах рек Надым, Пур, Бакчар, Андарма и др.) с использованием значений параметров модели, дискретно распределенных по территории в зависимости от характеристик ландшафта.

5. Разработан сценарий изменения месячных приземных температур воздуха и атмосферных осадков с детализацией по разным природным зонам и районам Западной Сибири в среднем на период 2021–2030 гг. В процессе его разработки: 1) показано, что современный 30-летний климатический период (1985–2015 гг.) отличается от предыдущего более высоким энергетическим уровнем (температурами воздуха), но на этом фоне в некоторые месяцы наблюдаются не только восходящие, но и нисходящие тенденции температуры; 2) методом экспоненциального прогнозирования выполнен статистический прогноз средних температур и осадков по каждой из 31 метеостанции, расположенной на территории Западно-Сибирской равнины (исключая метеостанции в крупных городах региона и на арктическом побережье), на период 2021–2030 гг.: за зиму и, по месяцам, – за теплый период года.

6. На основе анализа средних температур воздуха и атмосферных осадков за базовый (1966–1985 гг.), современный (1985–2015 гг.) периоды и статистического прогноза этих показателей за прогнозный (2021–2030 гг.) период рассчитаны показатели режима осадков, испарения, «климатического» стока воды и влажности деятельного слоя почвы по данным метеостанций, расположенных в разных природных зонах и районах Западно-Сибирской равнины. Показано, что прогнозируемый рост температуры и испарения на фоне увеличения осадков практически не приводит к ожидаемому снижению «климатического» стока воды даже в районах недостаточного увлажнения (лесостепь). В то же время, влажность почвы в летний период, согласно расчетам, в 2021–2030 гг. повсеместно снизится.

Таким образом, создан инструмент, позволяющий выполнять анализ и прогнозировать режим увлажнения и теплообеспеченности территории в разных пространственно-временных масштабах, с учетом изменения климатических характеристик и и вызываемых этим процессом изменений параметров модели. При этом возможны разнообразные прогнозные или задаваемые характеристики климатических изменений (сценарии изменения климата) – в результате получают соответствующие количественные оценки трансформации водного баланса территории, ее гидрологического режима и, следовательно, ее ландшафтной

структуры.

По Западной Сибири подобные исследования, направленные, прежде всего, на оценку возможных последствий изменения климата, недостаточно развиты. Основные результаты являются новыми, особенно для исследуемой территории, в связи: 1) с привлечением новой дополнительной информации для анализа и моделирования происходящих процессов, прежде всего, полученной в результате собственных полевых наблюдений на ключевых малых водосборах; 2) учетом ландшафтных характеристик местности (отражающих условия ее дренирования) и их изменения по мере изменения климата и 3) учетом современных изменений климата и изменений, прогнозируемых с помощью авторских статистических моделей, по фактическим наблюдениям на метеостанциях, – полей средних на период 2021–2030 гг. среднемесячных приземных температур воздуха и месячных сумм осадков.

3.6 Сопоставление полученных результатов с мировым уровнем

Для оценки гидрологических последствий изменения климата используются разного рода балансовые модели, позволяющие оценить изменения стока рек и других характеристик гидрологического цикла (Climate Change, 2007; Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем, М., Росгидромет, 2012). Балансовые модели, основанные на уравнениях связи теплового и водного баланса участка суши типа М.И. Будыко - В.С.Мезенцева, например, широко используются для описания гидрологического цикла в Китае, Австралии, Германии, а также в глобальном масштабе (Arora, V.K., 2002, The use of aridity index to assess climate change effect on annual runoff. Journal of Hydrology, 265 (1-4), 164-177; Yang, H. et al, 2008, New analytical derivation of the mean annual water-energy balance equation. Water Resour. Res., 44, W03410; Renner et al, 2014, Separating the effects of changes in land cover and climate: a hydro-meteorological analysis of the past 60 yr in Saxony, Germany. Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, 389–405; Zhou, G. et al, 2015, Global pattern for the effect of climate and land cover on water yield. Nat. Commun. 6:5918 и др.).

По Западной Сибири подобные исследования, направленные, прежде всего, на оценку возможных последствий изменения климата, были недостаточно развиты. О соответствии выполненной по гранту работы мировому уровню свидетельствуют, в частности, статьи участников проекта, опубликованные в международных изданиях.

3.7.1 Методы и подходы, использованные в ходе выполнения Проекта (описать, уделив особое внимание степени оригинальности и новизны)

Для оценки гидрологических последствий изменения климата используются разного рода балансовые модели, позволяющие оценить изменения стока рек и других характеристик гидрологического цикла (Climate Change, 2007; Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем, М., Росгидромет, 2012). Балансовые модели, основанные на уравнениях связи теплового и водного баланса участка суши типа М.И. Будыко - В.С.Мезенцева, например, широко используются для описания гидрологического цикла в Китае, Австралии, Германии, а также в глобальном масштабе (Arora, V.K., 2002, The use of aridity index to assess climate change effect on annual runoff. Journal of Hydrology, 265 (1-4), 164-177; Yang, H. et al, 2008, New analytical derivation of the mean annual water-energy balance equation. Water Resour. Res., 44, W03410; Renner et al, 2014, Separating the effects of changes in land cover and climate: a hydro-meteorological analysis of the past 60 yr in Saxony, Germany. Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, 389–405; Zhou, G. et al, 2015, Global pattern for the effect of climate and land cover on water yield. Nat. Commun. 6:5918 и др.).

По Западной Сибири подобные исследования, направленные, прежде всего, на оценку возможных последствий изменения климата, были недостаточно развиты. О соответствии выполненной по гранту работы мировому уровню свидетельствуют, в частности, статьи участников проекта, опубликованные в международных изданиях. Методы и подходы, использованные в ходе выполнения Проекта (описать, уделив особое внимание степени оригинальности и новизны)

Методологический подход опирается на метод гидролого-климатических расчетов (ГКР) В.С.Мезенцева. Модель основана на решении уравнений связи теплового и водного баланса суши для определения характеристик тепловлагообеспеченности территории Западно-Сибирской равнины в настоящее время и при прогнозируемых вариантах изменения климата, вызывающих соответствующую трансформацию ландшафта. В методе ГКР слой испарения Z определяется водным эквивалентом

теплоэнергетических ресурсов испарения ZM , суммарным увлажнением деятельной поверхности H , состоящим из суммы исправленных атмосферных осадков X и изменения влажности деятельного слоя ($W1-W2$) за расчетный период, а также безразмерными параметрами: n , отражающим влияние ландшафтных условий формирования стока, и g , характеризующим способность почвогрунта подводить влагу к испаряющей поверхности и расходовать ее на испарение. Модель ГКР имеет небольшое число параметров, позволяет при редкой сети метеонаблюдений привлекать данные модельных реанализов по температурам воздуха и атмосферным осадкам в узлах координатной сетки и выполнять расчет текущих водно-тепловых балансов с заданным интервалом дискретности. Ценность выбранной модели, в нашем случае, определяется и ее возможностью вычислять целый набор взаимосвязанных характеристик водного и теплового баланса, прежде всего, на междуречных пространствах равнины, сильно заболоченных и заозеренных, различающихся геологическим строением, рельефом, почвенным покровом, типом и степенью развития многолетней мерзлоты.

В результате расчетов получаются поля таких характеристик, как, в современной терминологии метода ГКР (Карнацевич и др., 2007): теплоэнергетические ресурсы климата, теплоэнергетические ресурсы испарения, или максимально возможное испарение, затраты теплоэнергетических ресурсов климата на нагревание и таяние снега и льда (в т.ч. деятельного слоя мерзлоты), общее увлажнение, суммарное увлажнение за расчетный интервал времени (декада, месяц, год), запасы влаги в деятельном слое почвогрунтов в начале и в конце расчетного интервала времени, испарение, слой стока, коэффициенты увлажнения, испарения, стока и др. Эти и подобные им показатели определяются на основе современных баз данных гидрометеонаблюдений. Часть этих показателей контролируется непосредственными измерениями на специально отобранных для выполнения проекта ключевых участках и малых водосборах, а также по данным сети наблюдений на малых и средних реках. Новизна, по сравнению с прототипом метода ГКР, заключается в методах определения параметров, которые допускают значительно большую детализацию их значений по территории и временную изменчивость в зависимости от реальных или задаваемых в виде сценариев изменений климата в разных природных зонах и районах Западно-Сибирской равнины. Таким образом, метод ГКР фактически реализуется в виде модели с распределенными в пространстве и по времени параметрами. Вводятся и элементы обратной связи, осуществляющейся по следующей цепочке: 1) изменение климатических характеристик и степени увлажненности земной поверхности; 2) изменение ландшафтных характеристик (соответственно – параметров n и g и толщины деятельного слоя, особенно на участках многолетнемерзлых пород, болотных торфяников и т.п.) и 3) дальнейшее изменение водного баланса и степени увлажненности территории, на чем цикл замыкается. В этих условиях особенно важную роль играет оценка параметров модели, учитывая изменение их значений в пространстве и времени.

Определение параметров n и g . Параметр n , учитывающий интенсивность дренирования ландшафтов и формирования стока, впервые предложено оценивать, используя цифровые модели рельефа и определяемый по ним показатель увлажнения (Wetness Index) с применением ГИС-инструментария. Содержание влаги в почво-грунтах рассчитывается с учетом динамики мощности деятельного слоя. Гидрологический контроль выполняется по стоку с малых бассейнов. Из всех элементов водного баланса наиболее точно измеряется русловой сток воды, отражающий текущую влажность деятельного слоя на малом водосборе. Поэтому для гидрологического контроля и параметризации модели были организованы наблюдения на малых водосборах в разных природно-климатических условиях. Для этого установлены приборы автоматического мониторинга уровня, температуры почвы, воды и воздуха. Приборы разработаны и произведены в ИМКЭС СО РАН (Томск). Модельные водосборы расположены в зоне олиготрофных болот южной тайги, зоне бугристых болот лесотундры и предгорной зоне южной тайги.

Оптимизации подвергался параметр водно-физических свойств почвы g – путем достижения наилучшего соответствия измеренного и рассчитанного стока за расчетный период. Для детализации обратных связей в зависимости от динамики климата необходимо учитывать динамику мощности деятельного слоя.

Данные по приземным температурам воздуха и атмосферным осадкам подаются на вход модели ГКР для получения характеристик увлажнения и теплообеспеченности. Исходная информация включает: 1) многолетние данные стандартных точечных наблюдений метеорологической сети - архив ВНИГМИ-МЦД (<http://meteo.ru/data>) и 2) данные модельного реанализа NCEP/NCAR (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>) в узлах

координатной сетки. Данные имеют различное разрешение во времени, от сезонного и месячного до декадного и суточного. Данные реанализа, в силу их расхождения с данными измерений на метеостанциях исследуемого региона, лишь частично использованы для решения вспомогательных задач (заполнение пропусков в рядах наблюдений).

На первом этапе исследована пространственно-временная изменчивость приземной температуры воздуха и атмосферных осадков за 30-летний базовый климатический период 1986–2015 гг. по отношению к норме. Для анализа изменения температуры воздуха и атмосферных осадков за зимний (ноябрь–март), летний (июнь–август) сезоны и за год использованы среднемесячные данные по репрезентативным метеостанциям Росгидромета, относительно равномерно расположенным на Западно-Сибирской равнине (за исключением ее арктического побережья), за 1966–2015 гг. Метеостанции находятся в разных ландшафтных зонах, наблюдения на станциях, находящихся в крупных городах, не учитывались. Анализ и прогнозирование пространственно-временной изменчивости наблюдаемых на метеостанциях региона приземной температуры воздуха и атмосферных осадков выполнены статистическими методами в пакете STATISTICA (регрессионный анализ, анализ трендов, кластерный анализ для классификации объектов, экспоненциальное сглаживание и прогнозирование).

На втором этапе для получения среднесезонных значений температур воздуха и атмосферных осадков на прогнозный период 2021–2030 гг., индивидуально по каждой из 31 метеостанции, выполнено прогнозирование ежемесячных (за теплый период года) температур и осадков с помощью адаптивной модели – метода экспоненциального сглаживания. Характерной чертой адаптивных моделей прогнозирования является наличие механизма самонастройки, позволяющего непрерывно учитывать изменения характеристик временного ряда. Метод позволяет делать прогнозы на относительно короткие временные отрезки, когда наличие долговременных тенденций остается под вопросом.

Этот прогноз принят в качестве основного рабочего сценария изменения климата на период 2021–2030 гг. Он представляется более реалистичным для континентальных областей Западной Сибири по сравнению, например, с прогнозами по глобальным климатическим моделям (учитывающим, в основном, усиление парникового эффекта на длительную перспективу), так как с начала XXI в. обнаруживается замедление роста глобальной приземной температуры воздуха, что вызвало дискуссию о «наблюдаемой паузе в глобальном потеплении» в связи с усилением меридиональной циркуляции (Второй оценочный доклад Росгидромета, 2014). Обсуждается также эффект «теплой Арктики, холодные континенты», связываемый с ускоряющимся уменьшением площади морского льда в Арктике (Sun et al, 2016). В этой ситуации возрастает роль региональных статистических моделей климата, учитывающих квазипериодические колебания, или ритмы в масштабе одного-двух десятилетий (Шерстюков, 2010; Вакуленко, 2015).

Средние оценки характеристик водного баланса суши (испарение, «климатический» сток, влажность почво-грунта и др.) за базовый (1966–1985), современный (состоящий из двух частей: 1986–2000 и 2001–2015) и прогнозный (2021–2030 гг.) периоды определялись с месячным разрешением методом ГКР. Анализ результатов показал заметные различия в величине и внутригодовом распределении перечисленных характеристик по природным зонам и районам Западной Сибири.

Вклад каждого члена коллектива в выполнение Проекта в 2016 году (указать работу, выполненную каждым членом коллектива по Проекту в 2016 году с новой строки)

3.7.1

Земцов В.А.: руководство исследованиями по теме, исследование изменчивости гидроклиматических характеристик, анализ результатов расчетов и прогнозов, написание 2 статей, подготовка 2 докладов на конференциях.

Копысов С.Г.: определение параметров модели ГКР, исследование факторов пространственно-временной изменчивости параметров, выполнение полевых работ, моделирование методом ГКР водного баланса по метеостанциям и экспериментальным водосборам (с учётом результатов полевых наблюдений за влажностью почво-грунтов, динамикой уровней воды на ключевых участках), подготовка 2 статей и 2 докладов на конференциях.

Паромов В.В.: исследование характера изменчивости температуры воздуха и атмосферных осадков по данным метеостанций, прогноз и разработка сценария изменчивости среднемесячной приземной температуры воздуха и сумм атмосферных осадков по 31 метеостанции для расчета и прогноза водного баланса территории

методом ГКР, подготовка 2 статей и 2 докладов на конференциях.
Герасимова В.Р.: подготовка и анализ данных по стоку рек, выполнение расчетов, участие в подготовке докладов на конференциях.
Ярлыков Р.В.: подготовка данных для расчетов.

- Количество научных работ по Проекту, опубликованных в 2016 году (цифрами) (пункт заполняется автоматически, выводится количество заполненных 509 форм)**
- 3.8.1** 19
- 3.8.1.1 Из них в изданиях, включенных в перечень ВАК**
10
- 3.8.1.2 Из них в изданиях, включенных в библиографическую базу данных РИНЦ**
17
- 3.8.1.3 Из них в изданиях, включенных в международные системы цитирования (библиографические и реферативные базы научных публикаций)**
4
- 3.8.2 Количество научных работ, подготовленных в ходе выполнения Проекта и принятых к печати в 2016 году(пункт заполняется автоматически, выводится количество заполненных 509 форм)**
1
- 3.9 Участие в 2016 году в научных мероприятиях по тематике Проекта (каждое мероприятие с новой строки, указать названия мероприятий и тип доклада)**
1. VI Всероссийская научная конференция с международным участием «Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове». Памяти Р.С. Ильина. 12, 13 сентября 2016 г. Томск. 2 устных доклада: Копысов С.Г., Паромов В.В. Оценка влияния климатических изменений на режим увлажненности Западной Сибири на основе модели В.С. Мезенцева с учетом обратных связей
Копысов С.Г. Ландшафтно-геофизические условия почвообразования.
2. UArctic Congress 2016. 12-16 September, St. Petersburg, Russia (Конгресс Университета Арктики. 12-16 сентября 2016 г. Санкт-Петербург, Россия). Устный доклад:
Zemtsov V., Kopysov S., Sinkinov V. "Thermokarst lakes in the south of permafrost zone of Western Siberia: a study of morphometry, water budget and water exchange rates".
3. Международная научно-практическая конференция «Водный форум БРИКС». Москва, 29–30 сентября 2016. Без доклада.
- 3.10 Участие в 2016 году в экспедициях по тематике Проекта, которые проводились при финансовой поддержке Фонда (указать номера проектов)**
экспедиция не планировалась
- 3.11.1 Финансовые средства, полученные в 2016 году от Фонда**
430000,00
- 3.11.2 Финансовые средства, полученные в 2015 году от Фонда**
420000,00
- 3.11.3 Финансовые средства, полученные в 2014 году от Фонда**

350000,00

3.12 Адреса (полностью) ресурсов в Интернете, подготовленных авторами по данному проекту, например, <http://www.somewhere.ru/mypub.html>

<http://ggf.tsu.ru/content/faculty/structure/chair/hydrology/scince/grants/14-05-00700/index.php>

3.13 Библиографический список всех публикаций по проекту за весь период выполнения проекта, в порядке значимости: монографии, статьи в научных изданиях, тезисы докладов и материалы съездов, конференций и т.д.

1. Zemtsov, V.A., Paromov, V.V., Kopysov, S.G., Kouraev, A.V., Negrul, S.V. Hydrological risks in Western Siberia under the changing climate and anthropogenic influences conditions // International Journal of Environmental Studies. 2014. 71 (5). P. 611-617. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00207233.2014.942530>
2. Kopysov S.G. , Erofeev A.A., Zemtsov V.A. Estimation of water balance over catchment areas taking into account the heterogeneity of their landscape conditions // International Journal of Environmental Studies, 2015. V. 72/3. P. 380-385. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00207233.2015.1010876>.
3. Zemtsov V.A., Savichev O.G. Resources, regime and quality of surface waters in the Ob River basin: history, current state and problems of research // International Journal of Environmental Studies, 2015. V. 72/3. P. 386-396. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00207233.2015.1019299>.
4. Паромов В.В., Земцов В.А., Копысов С.Г. Климат Западной Сибири в фазу замедления потепления (1986–2015 гг.) и прогнозирование климатических и гидрологических показателей на 2021–2030 гг. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016 (сдано в печать).
5. Копысов С.Г. Параметрический учет ландшафтных условий стока в методе гидролого-климатических расчетов // География и природные ресурсы. 2014. Вып. 3. С. 157-161.
6. Копысов С.Г. Многолетний гидрологический режим западин юга таежной зоны Западной Сибири // Известия РАН. Серия географическая. 2015. Вып. 5. С. 130-134.
7. Копысов С.Г., Ярлыков Р.В. Опыт организации гидролого-климатических наблюдений на малых модельных водосборах Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326. Вып. 12. С. 115-121.
8. Дубровская Л.И., Шукова В.В., Герасимова В.Р. Закономерности межгодовой изменчивости гидролого-климатических характеристик увлажненности заболоченных водосборов на периферии Большого Васюганского болота // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16. Вып. 1. С. 960-966.
9. Дубровская Л.И., Герасимова В.Р. Особенности сезонного стока с заболоченных водосборов Обь-Иртышского междуречья в условиях изменяющегося климата // Вестник Томского гос. ун-та. – Томск: Изд-во ТГУ, 2014. – Вып. 389. – С. 221-227.
10. Дубровская Л.И., Герасимова В.Р. Анализ многолетних колебаний стока рек Обь-Иртышского междуречья // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. Вып. 6. С. 82-86.
11. Герасимова В.Р., Шукова В.В. Тенденции гидролого-климатических условий увлажненности заболоченных водосборов подтайги и северной лесостепи Западной Сибири в связи с региональными изменениями климата // Географический вестник. 2015. Вып. 1(32). С. 38-43.
12. Земцов В.А., Копысов С.Г. , Паромов В.В. Оценка влияния климатических изменений на режим увлажненности в Западной Сибири на основе модели В.С. Мезенцева с учетом обратных связей // VI Всероссийская конференция с международным участием «Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове» посвященная 125-летию со дня рождения Ростислава Сергеевича Ильина. Сборник материалов. Томск, 2016. С. 53–57.
13. Копысов С.Г. Ландшафтно-геофизические условия почвообразования // VI Всероссийская конференция с международным участием «Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове» посвященная 125-летию со дня рождения Ростислава Сергеевича Ильина. Сборник материалов. Томск, 2016. С. 179–183.
14. Паромов В.В., Земцов В.А. Оценка современных тенденций изменений количества осадков и приземной температуры воздуха в тундрово-таежной зоне Западной Сибири // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: труды II

- Всероссийской науч. конференции с международным участием. – Барнаул: «ГРАФИКС», 2014. – Т. I. – С. 151–157.
15. Герасимова В.Р., Дубровская Л.И., Земцов В.А. Гидрологический режим малых и средних заболоченных рек Васюганского болота в условиях регионального изменения климата // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: труды II Всероссийской науч. конференции с международным участием. – Барнаул: «ГРАФИКС», 2014. – Т. I. – С. 204–209.
16. Земцов В.А., Паромов В.В., Копысов С.Г. Динамика гидрологических опасностей в Западной Сибири в условиях современных изменений климата // Речной сток: пространственно-временная изменчивость и опасные гидрологические явления. Сборник трудов Третьей открытой конференции Научно-образовательного центра. 13 ноября 2014 . - Москва: кафедра гидрологии суши МГУ им. М. В. Ломоносова, ИВП РАН. 2014. С.131-144.
17. Копысов С.Г. Отражение экосистемных процессов в методе гидролого-климатических расчетов // Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове: сборник материалов V Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ. Томск, 2015. С. 417-421.
18. Zemtsov V., Kopysov S., Sinkinov V. Thermokarst lakes in the south of permafrost zone of Western Siberia: a study of morphometry, water budget and water exchange rates // UArctic Congress 2016. Abstract Book. 12-16 September, St. Petersburg, Russia. 2016. P. 72.
19. Земцов В.А., Паромов В.В. Климатические изменения и их гидрологические последствия в Западной Сибири // Международная научно-практическая конференция «Вторые Виноградовские Чтения. Искусство гидрологии» памяти выдающегося русского ученого Ю.Б. Виноградова (18-22 ноября 2015 г., Санкт-Петербург). Сборник расширенных тезисов. – Санкт-Петербург. 2015. – С. 38-41.
20. Копысов С.Г. Единство экосистемных и гидрологических процессов // Международная научно-практическая конференция «Вторые Виноградовские Чтения. Искусство гидрологии» памяти выдающегося русского ученого Ю.Б. Виноградова (18-22 ноября 2015 г., Санкт-Петербург). Сборник расширенных тезисов. Санкт-Петербург. 2015. С. 293-296.

3.14 Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ, которому, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта

Рациональное природопользование

3.15 Критическая технология РФ, которой, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта

Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения

3.16 Основное направление технологической модернизации экономики России, которому, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта

не очевидно

Основные результаты проекта

Цель проекта состоит в оценке и прогнозировании влияния климатических изменений на гидрологический цикл, водный баланс и режим увлажненности территории Западно-Сибирской равнины в зональном, региональном и локальном масштабах, с учетом обратных связей, генерируемых изменением характеристик ландшафта по мере изменения климата.

В качестве рабочей модели определен метод гидролого-климатических расчетов (ГКР) В.С.Мезенцева, использующий небольшое число параметров и требующий достаточно ограниченное количество гидрометеорологической информации. Модель позволяет увязать данные специально организованных полевых наблюдений на малых экспериментальных водосборах с многолетними рядами гидрометеорологических характеристик в одну систему для исследования и прогноза гидрологических последствий изменения климата.

Основные результаты: 1. Собрана и пополняется база данных гидрометеорологических наблюдений по состоянию на 2015 г., проведен более детальный статистический анализ происходящих изменений климата и гидрологического режима малых и средних рек.

2. Организованы и проведены гидрометеорологические наблюдения (уровни, температура, сток воды и др.) на двух ключевых малых водосборах – в лесотундре (зона распространения многолетней мерзлоты) и южной тайге, которые специально оборудованы автономной измерительной техникой.

3. Разработана методика определения параметров модели ГКР: n , учитывающего интенсивность дренирования ландшафтов и формирования стока, и r , характеризующего способность почвы подводить воду к испаряющей поверхности и расходовать ее на испарение (зависит от гранулометрического состава грунта и водно-физических характеристик почвы, которые могут меняться в процессе изменения климата). Параметр n предложено определять, используя цифровые модели рельефа и вычисляемый по ним показатель увлажнения (Wetness Index) для однородных участков. Определена динамика толщины деятельного слоя почвы в зависимости от изменения климатических показателей. Это позволяет использовать метод ГКР как модель с рассредоточенными в пространстве и времени параметрами.

4. Разработан рабочий сценарий изменения месячных температур воздуха и атмосферных осадков по разным природным зонам и районам Западной Сибири в среднем на период 2021–2030 гг. По данным 31 метеостанции (<http://meteo.ru/data>): 1) показано, что современный 30-летний климатический период (1985–2015 гг.) отличается от предыдущего более высоким энергетическим уровнем, но в некоторые месяцы наблюдаются нисходящие тенденции температуры; 2) методом экспоненциального прогнозирования рассчитан статистический прогноз средних температур и осадков по каждой из 31 метеостанции Западно-Сибирской равнины (исключая крупные города региона и арктическое побережье) на период 2021–2030 гг.: за зиму и, по месяцам, – за теплый период года.

5. Анализ средних температур воздуха и атмосферных осадков за базовый (1966–1985), современный (1985–2015) периоды и статистический прогноз этих показателей за прогнозный (2021–2030 гг.) период позволили рассчитать показатели режима осадков, испарения, «климатического» стока воды и влажности деятельного слоя почвогрунтов по данным метеостанций, расположенных в разных природных зонах и районах. Показано, что прогнозируемый рост температуры и испарения при увеличении осадков практически не приводит к снижению «климатического» стока воды даже в районах недостаточного увлажнения (лесостепь). В то же время, влажность почвы в летний период, согласно расчетам, повсеместно в 2021–2030 гг. снизится.

В качестве рабочей модели определен метод гидролого-климатических расчетов (ГКР), разработанный В.С.Мезенцевым и его учениками. Основное уравнение метода:

$$Y = H - Z = (X + W_1 - W_2) - Z_M \left[1 + \left(\frac{X + W_1 - W_2}{Z_M} \right)^{-rn} \right]^{-\frac{1}{n}}$$

Здесь Y – слой стока за расчетный месячный период, Z – испарение с поверхности суши (Y и Z являются основными воднобалансовыми характеристиками ландшафта). Испарение Z определяется водным эквивалентом теплоэнергетических ресурсов испарения Z_M , суммарным увлажнением деятельной поверхности H , состоящим из суммы исправленных атмосферных осадков X и изменения влажности ($W_1 - W_2$) деятельного слоя почвы за расчетный период (все перечисленное определяется в мм), а также безразмерными параметрами: n , отражающим влияние ландшафтных условий формирования стока и r , который характеризует способность почвы подводить воду к испаряющей поверхности и расходовать ее на испарение (зависит от гранулометрического состава и водно-физических характеристик почвогрунта, которые могут меняться в процессе изменения климата).

Предложены способы определения значений параметров модели гидролого-климатических расчетов с учетом их изменчивости в пространстве и во времени

На примере района площадью 147400 км² в южной тайге Западной Сибири предложен алгоритм выделения однородных по характеристикам рельефа локальных участков и определения для них значений параметра n – в среде ГИС по цифровой модели рельефа (рис. 1).

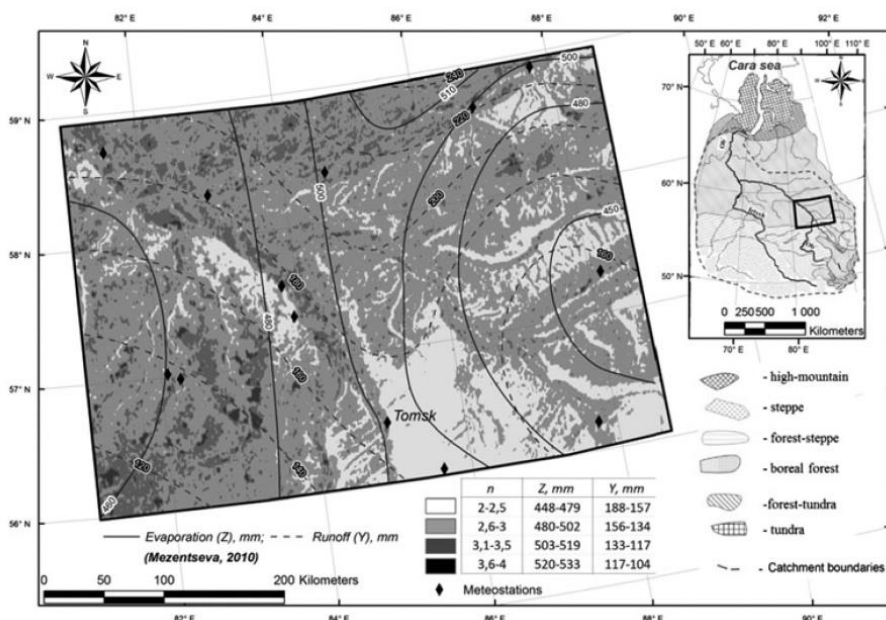


Рис. 1. Пространственная изменчивость среднемноголетних значений воднобалансовых элементов в разных ландшафтах исследуемого участка. Наибольшие значения параметра n соответствуют центральным частям верховых болот (Корусов, Erofeev, Zemtsov, 2015)

Для оценки параметров модели n и r на локальных участках в таежной и лесотундровой зонах проведены полевые наблюдения на трех ключевых малых водосборах, где установлены приборы автоматического мониторинга уровня воды, температуры почвы, воды и воздуха. Для учёта стока воды по наблюдаемым уровням использовались разные методы гидравлических расчётов, с контролем по фактическим измерениям расхода воды.

Разработан прогнозный сценарий изменения месячных температур воздуха и атмосферных осадков по разным природным зонам и районам Западной Сибири в среднем на период 2021–2030 гг.

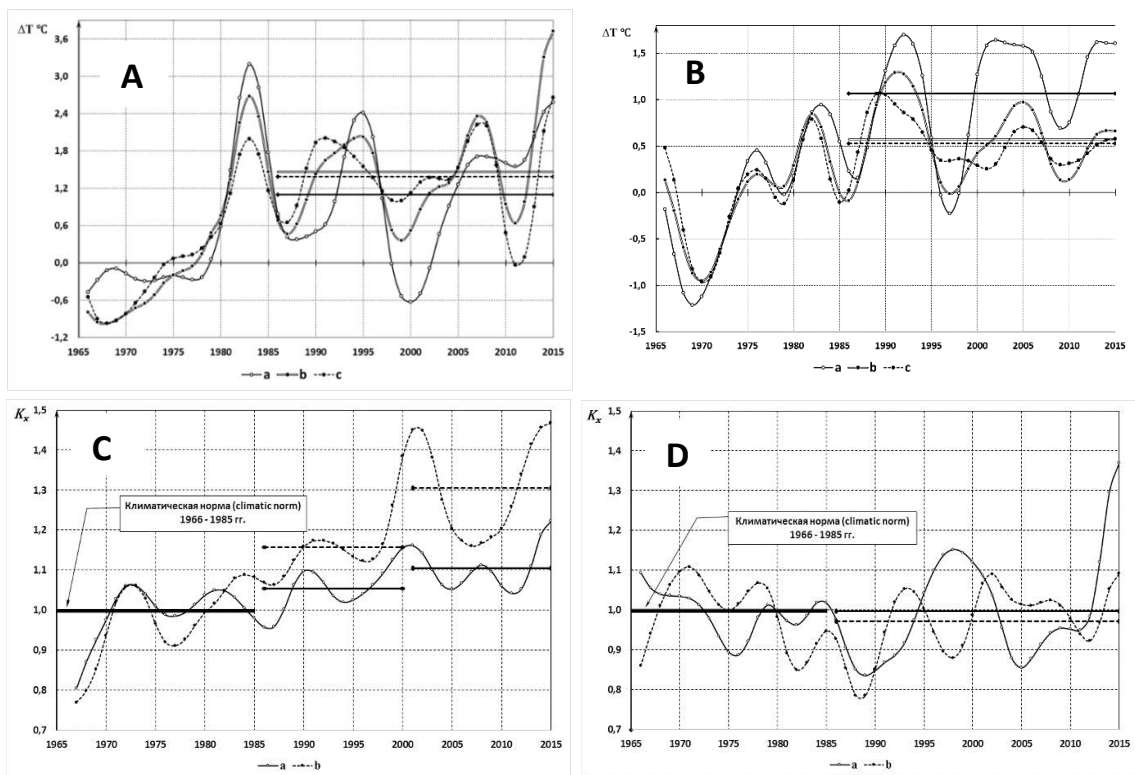


Рис.2. Вариации температуры и осадков относительно нормы 1966–1985 гг. (сглаженные 4253Н фильтром): А, В – соответственно, зимние и летние температуры в лесотундре – северной тайге (а), средней – южной тайге (b), южной тайге – лесостепи с); С, D – зимние и летние осадки севернее (а) и южнее (b) 62° с.ш.

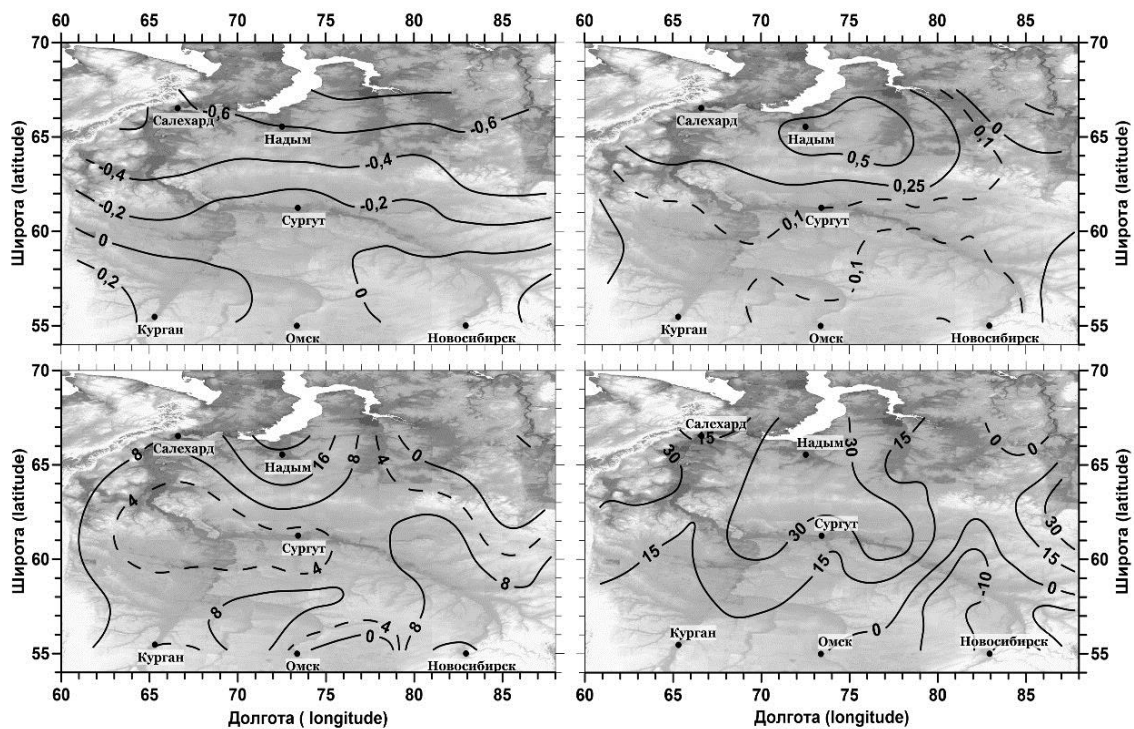


Рис.3. Прогнозные изменения средних зимних (слева) и летних (справа) температур (сверху) и осадков (снизу) за 2021–2030 гг. с по сравнению с 2001–2015 гг.

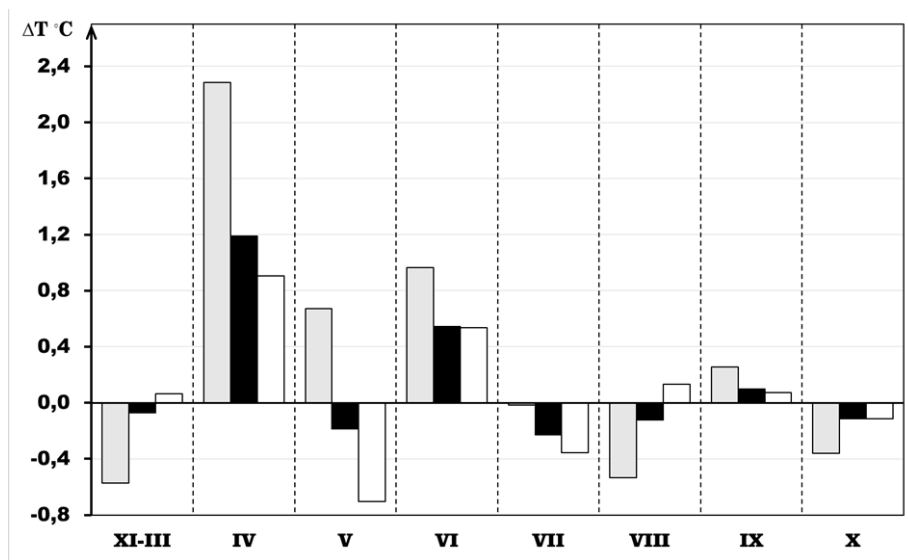


Рис. 4. Прогнозные изменения средних месячных температур воздуха в 2021–2030 гг. по сравнению с 2001–2015 гг. в лесотундре–северной тайге (выделено серым цветом), средней–южной тайге (черным) и южной тайге–лесостепи (белым цветом)

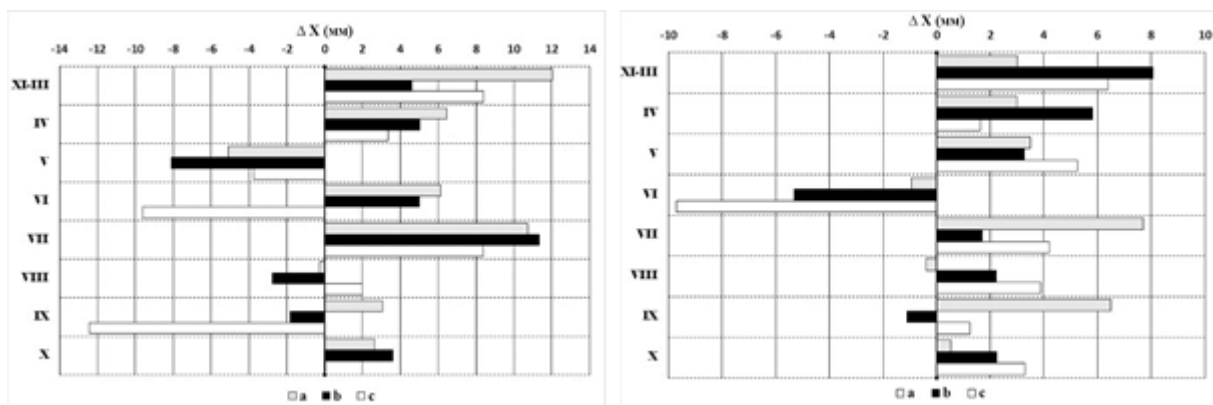


Рис. 5. Прогнозные изменения средних сумм месячных атмосферных осадков в 2021 – 2030 гг. с по сравнению с 2001 – 2015 гг. в лесотундре - северной тайге (выделено серым цветом), средней - южной тайге (черным) и южной тайге -лесостепи (белым цветом): слева – западнее 73°в.д.; справа – восточнее 73°в.д.

Выполнен прогноз показателей водного баланса и гидрологического режима территории, осредненный по зональным подразделениям

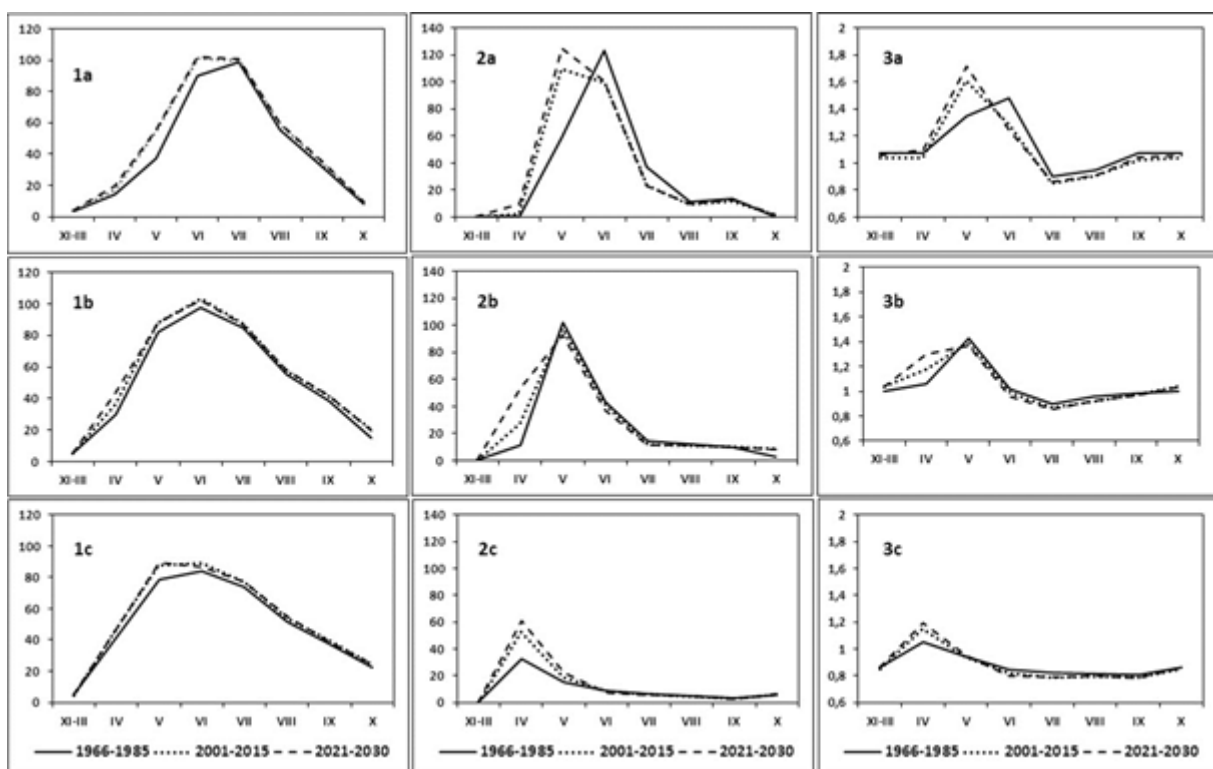


Рис. 6. Внутригодичная изменчивость рассчитанных по метеостанциям слоев (мм) испарения (1), «климатического» слоя стока (2) и относительной влажности деятельного слоя почвы (3), осредненных по территории трех зональных подразделений и по времени – за базовый (1966–1985), первую половину современного (1986–2000) и прогнозный (2021 - 2030 гг.) период; а: лесотундра – северная тайга; б: средняя – южная тайга; с: южная тайга – лесостепь

На рис. 6, где показаны результаты модельных расчетов, хорошо фиксируется более раннее начало половодья, определяемое по месяцу перехода среднемесячной температуры воздуха через ноль весной, в лесотундре и тайге. За счёт увеличения зимних осадков увеличивается объем половодья и изменяется его форма. Суммарный объем климатического стока возрастает несмотря

на рост испарения. Относительная влажность деятельного слоя, характеризующая отношение влагозапаса деятельного слоя к его наименьшей влагоёмкости, заметно увеличивается в весенний период и снижается в летний летом. Наиболее заметные изменения прослеживаются между гидроклиматическими характеристиками базового (1966–1985) и прогнозного (2021–2030) периодов. Прогнозируемый рост температуры и испарения, практически не приводит к ожидаемому снижению стока даже в районах недостаточного увлажнения (лесостепь). В то же время, влажность почвы в летне-осенний период, согласно расчетам, повсеместно в 2021–2030 гг. снизится.

Аннотации публикаций по Проекту

1. **Zemtsov, V.A., Paromov, V.V., Kopysov, S.G., Kouraev, A.V., Negrul, S.V.** Hydrological risks in Western Siberia under the changing climate and anthropogenic influences conditions (Гидрологические риски в Западной Сибири в условиях изменения климата и антропогенных воздействий) // International Journal of Environmental Studies. 2014. 71 (5). P. 611-617. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00207233.2014.942530>

Аннотация. Рассматриваются гидрологические опасности и риски, динамика которых связана с изменениями климата и антропогенными воздействиями на водные объекты и их водосборные площади. Показано, что гидрологические последствия изменений климата в Западной Сибири отличаются высокой степенью пространственно-временной неоднородности и весьма разнообразны. Определены наиболее опасные гидрологические явления, степень риска которых, вероятно, будет возрастать, причины такой динамики и характерные места распространения. Сделан вывод, что как вероятность, так и масштаб негативных последствий определенных гидрологических явлений и процессов возрастают по мере нарастания климатических изменений и усиления антропогенных воздействий.

Ключевые слова: изменение климата, Западная Сибирь, гидрологические опасности и риски

2. **Kopysov S.G., Erofeev A.A., Zemtsov V.A.** Estimation of water balance over catchment areas taking into account the heterogeneity of their landscape conditions // International Journal of Environmental Studies, 2015, 72(3), 380-385. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00207233.2015.1010876>

Аннотация. Ландшафтные условия формирования стока под действием естественных и антропогенных факторов могут существенно изменяться. Для бассейна Оби велика роль гидроморфной трансформации ландшафтов, проявляющейся в заболачивании территории. Для учета ландшафтных условий при вычислении элементов водного баланса по методу гидролого-климатических расчетов (ГКР) используется специальный параметр n . В статье предлагается определять величину этого параметра по геоморфометрическим характеристикам ландшафтов с использованием ГИС инструментария. На примере региона площадью 147 400 км², расположенного в южной тайге Западной Сибири (56–59°с.ш. 81,5–88,4° в.д.), предложен алгоритм выделения однородных по характеристикам рельефа локальных участков и определения для них значений параметра n – по цифровой модели рельефа с использованием специализированных программных пакетов SAGA и ILWIS. Предлагается вычислять n по зависимости от морфометрического индекса влажности WT (Wetness Index). Показано, что при благоприятных локальных условиях дренирования территории ($n = 2$) среднемноголетнее испарение на 19% меньше, чем при неблагоприятных условиях дренирования поверхности ($n = 4$), годовой слой стока - на 45% больше.

Ключевые слова: водный баланс, ландшафтные условия, топографические характеристики

3. **Zemtsov V.A., Savichev O.G.** Resources, regime and quality of surface waters in the Ob River basin: history, current state and problems of research // International Journal of Environmental Studies, 2015. 72(3), 386-396. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00207233.2015.1019299>

Аннотация. Рассматриваются история и основные результаты исследований ресурсов, режима и качества поверхностных вод бассейна Оби, сосредоточенных в таких водных объектах /water objects/, как ледники, реки, озера, водохранилища и болота. Исследования длительное время проводились по государственным планам и заданиям такими правительственными структурами, как Гидрометеорологическая служба, Министерство энергетики и др., проектными организациями, научно-исследовательскими институтами Академии наук и вузов. История включает несколько этапов, в течение которых решались крупные комплексные задачи, направленные на экономическое развитие территории бассейна. В результате исследований к 1980-м гг. создана развернутая сеть стационарных гидрологических наблюдений, получена базовая информация о факторах формирования ресурсов, режима и качества поверхностных вод, многолетней динамике гидрологических характеристик.

В статье отражено значение метода гидроклиматических расчётов водно-теплового баланса по метеоданным, разработанного В.С. Мезенцевым и его учениками, в общей системе гидрологических исследований в Западной Сибири и отмечена возможность его использования для количественного определения ожидаемых изменений стока, испарения и в целом водного баланса территории по заданным сценариям изменения климата.

На современном этапе исследований, финансируемых в том числе по проектам международного уровня, решаются крупные мультидисциплинарные задачи, направленные на более глубокое понимание гидрологического цикла и геостока, в основном, в глобальном и региональном масштабах, и их взаимосвязи с изменениями климата и окружающей среды в целом.

Ключевые слова: бассейн реки Обь, гидрология, гидрохимия, геосток

4. **Паромов В.В., Земцов В.А., Копысов С.Г.** Климат Западной Сибири в фазу замедления потепления (1986–2015 гг.) и прогнозирование климатических и гидрологических показателей на 2021–2030 гг. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016 (сдано в печать).

Аннотация. Цель работы: 1) оценка климатических изменений на территории Западной Сибири на основе статистического анализа рядов месячных температур воздуха и атмосферных осадков по состоянию на 2015 г., 2) прогноз поля средних за период 2021–2030 гг. температур воздуха и осадков и 3) определение климатообусловленных изменений водного баланса территории и режима стока воды.

Методы исследования. Анализ и прогнозирование пространственно-временной изменчивости наблюдаемых на метеостанциях региона приземной температуры воздуха и атмосферных осадков выполнены статистическими методами (регрессионный анализ, анализ трендов, кластер анализ для классификации объектов, экспоненциальное сглаживание и прогнозирование). Средние за базовый (1966–1985), современный (1986–2015) и прогнозный (2021–2030 гг.) периоды оценки составляющих водного баланса суши

определены с месячным разрешением методом гидролого-климатических расчетов В.С.Мезенцева.

Результаты. Показано, что современный 30-летний климатический период отличается от предыдущего более высокими температурами воздуха, но на этом фоне в некоторые месяцы наблюдаются нисходящие тенденции температуры. Выполнен прогноз средних температур и осадков по 31 метеостанции на период 2021–2030 гг. за зиму и, по месяцам, – за теплый период года. Оценки за современный и прогнозный периоды позволили рассчитать средние показатели режима осадков, испарения, стока воды и влажности деятельного слоя почвы по данным метеостанций в разных природных зонах Западно-Сибирской равнины. Прогнозируемый рост температуры и испарения, не приводит к ожидаемому снижению стока даже в южных районах недостаточного увлажнения. В то же время, влажность почвы в летний период, согласно расчетам, повсеместно снизится.

Ключевые слова: изменение климата, водный баланс, Западная Сибирь, метод гидролого-климатических расчетов, температура воздуха, атмосферные осадки, анализ и прогнозирование временных рядов

5. **Копысов С.Г.** Параметрический учет ландшафтных условий стока в методе гидролого-климатических расчетов // География и природные ресурсы. 2014. № 3. С. 157-161.

Аннотация. Характерная для Западно-Сибирской равнины гидроморфная трансформация ландшафтов обусловлена не простым превышением количества осадков над испарением, а возможностью застоя воды в ландшафте при отсутствии условий для сброса избыточной влаги в сочетании с нехваткой теплоэнергетических ресурсов для ее испарения. На сегодняшний день наиболее обоснованным методом расчета испарения и элементов водного баланса представляется метод гидролого-климатических расчетов (ГКР). Предложены уравнения для определения параметра ландшафтных условий стока n , используемого в методе гидролого-климатических расчетов (ГКР) для оценки элементов водного баланса и характеризующего интенсивность дренирования деятельного слоя почво-грунтов и условия формирования стока. Показано, что его значения можно определять, используя индекс потенциальной влажности (Wetness Index), значения которого определяются в результате геоморфометрического анализа цифровых моделей рельефа в среде ГИС.

Ключевые слова: геоморфометрия, водный баланс, метод ГКР, заболачивание

6. **Копысов С.Г.** Многолетний гидрологический режим западин юга таежной зоны Западной Сибири // Известия РАН. Сер. географ. 2015. № 5. С. 130-134.

Аннотация. Рассматриваются причины и условия формирования западин юга таёжной зоны Западной Сибири, приводится их гидрологическая типизация. На основе параметризации нашей модели, в том числе с использованием материалов натурных наблюдений, моделируется многолетняя изменчивость гидрологического режима, свойственная западинному рельефу. Представлен расчет многолетних рядов характеристик, отражающих режим и временную динамику ресурсов тепла и влаги и степени их соответствия. Показано, что водный режим западин определяется всей

совокупностью факторов формирования стока. Делаются выводы об особой роли воронкообразных западин в питании грунтовых вод.

Ключевые слова: водный баланс, западины, геоморфометрия, метод ГКР

7. Копысов С.Г., Ярлыков Р.В. Опыт организации гидролого климатических наблюдений на малых модельных водосборах Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326. № 12. С. 115-121.

Аннотация. Актуальность работы обусловлена недостаточностью данных наблюдений на малых водотоках, необходимых для мониторинга климатических изменений, прогноза опасных гидрологических явлений, расчёта водопропускных сооружений и эффективной эксплуатации микрогидроэлектростанций. Цель работы. Обоснование выбора оптимальных методов организации автоматизированного учёта стока воды и сбора гидрологиклиматической информации для моделирования динамики воднобалансовых элементов, а также обеспечения адаптивного землепользования и нужд гидрологического и геохимического мониторинга. Методы исследования. Из всех элементов водного баланса наиболее точно измеряется поверхностный русловой сток воды, отражающий текущую влажность деятельного слоя на малом водосборе. На трёх малых водосборах в разных природноклиматических условиях были установлены приборы автоматического мониторинга уровня воды, температуры почвы, воды и воздуха, разработанные и произведенные в Институте мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. Модельные водосборы расположены в зоне олиготрофных болот южной тайги, зоне бугристых болот лесотундры и предгорной зоне южной тайги. Для учёта стока воды использовались различные методы гидравлических расчётов: для неподтопленного водослива круглого сечения с широким порогом; для равномерного движения в естественных руслах; для треугольного водослива с подтопленным нижним бьефом. Для определения шероховатости поверхности конкретного водослива проводились измерения стока гидрометрическим методом – вертушкой, а при малых расходах – объёмным методом. Измерения уровня и других метеорологических параметров выполнялись с интервалом 1 час и сохранялись в блоке управления. Результаты. Выявлена эффективность всех трёх способов организации учёта стока воды. Собраны уникальные данные по условиям формирования водного баланса и стока на малых водотоках. Показана огромная роль увлажненности деятельного слоя водосборов для возникновения экстремальных расходов воды.

Ключевые слова: мониторинг стока, модельный водосбор, водный баланс, лесотундра, южная тайга

8. Дубровская Л.И, Шукова В.В., Герасимова В.Р. Закономерности межгодовой изменчивости гидролого-климатических характеристик увлажненности заболоченных водосборов на периферии Большого Васюганского болота // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Том. 16. № 1(4). С. 960–966.

Аннотация. Приводятся результаты комплексного анализа условий увлажнения малых заболоченных водосборов за вегетационный период путем анализа межгодовой изменчивости поверхностного руслового стока воды весеннего сезона как интегрального

показателя увлажненности деятельного слоя и климатического индекса Селянинова как интегрального показателя, отражающего соотношение температуры и осадков. Выявлены существенные различия между условиями увлажнения заболоченных водосборов на юго-западной и северо-восточной периферии Большого Васюганского болота. Проявления тенденций климатического происхождения в гидрологических и метеорологических характеристиках четче фиксируются в подтайге и северной лесостепи

9. Дубровская Л.И., Герасимова В.Р. Особенности сезонного стока с заболоченных водосборов Обь-Иртышского междуречья в условиях изменяющегося климата // Вестник Томского гос. ун-та. – Томск: Изд-во ТГУ, 2014. – Вып. 389. – С. 221-227.

Аннотация. Представлены результаты оценки современного состояния и изменчивости сезонного стока рек, расположенных на отрогах Большого Васюганского болота в его северной и северо-восточной частях, а также в пределах южнотаежного Прииртышья, за период 1985–2009 гг. На основе анализа обширного расчетного материала (289 гидрографов стока с сопутствующей гидрометеорологической информацией) установлены значительные расхождения как в определении продолжительности сезонов, так и в объемах сезонного стока, рассчитанных в рамках двух различных подходов к установлению границ сезонов: календарном (одинаково для всех лет и постов) и генетическом (индивидуально для каждого года и объекта). Обоснован вывод, что календарный подход в определении границ сезонов занижает объем зимней межени и завышает объем половодья. Приведены количественные характеристики модулей сезонного стока и анализа их тенденций за исследуемый период. Выявлены статистически достоверные изменения в сроках наступления сезонов.

10. Дубровская Л.И., Герасимова В.Р. Анализ многолетних колебаний стока рек Обь-Иртышского междуречья // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т.17. № 6. С. 82-86.

Аннотация. Исследованы закономерности многолетних колебаний среднего годового стока рек, стекающих в Обь и Иртыш с территории Большого Васюганского болота за временной период от начала наблюдений по 2005 г. Проведено выделение районов по характеру цикличности водного режима рек за совместный период наблюдений 1955-2005 гг. Выявлены территориальные особенности смены характерных периодичностей, которые могут оказывать влияние на функционирование природных комплексов Западной Сибири, а также использоваться в прогностических целях.

Ключевые слова: речной сток, динамика периодичностей, изменение климата, Западная Сибирь, Васюганье, спектральный анализ, вейвлет-анализ

11. Герасимова В.Р., Щукова В.В. Тенденции гидролого-климатических условий увлажненности заболоченных водосборов подтайги и северной лесостепи Западной Сибири в связи с региональными изменениями климата // Географический вестник. 2015. Вып. 1(32). С. 38-43.

Аннотация. Сток половодья летне-осеннего сезона и в целом за год имеет тенденцию к возрастанию практически по всем постам. Выявлены тенденции продолжительности сезонного стока. Статистически достоверные тенденции сезонного стока фиксируются в бассейнах рек Майзас и Чека. Анализ многолетней динамики атмосферного увлажнения

за месяцы вегетационного периода показывает, что наблюдающиеся в последние десятилетия изменения среднегодовой температуры воздуха являются одной из долговременных фаз векового цикла. Отклик стока рек рассматриваемой территории на современные изменения регионального климата четко фиксируется в лесостепи.

Ключевые слова: заболоченный водосбор, подтайга, северная лесостепь, сезонный сток, климат, Западная Сибирь

12. **Земцов В.А., Копысов С.Г., Паромов В.В.** Оценка влияния климатических изменений на режим увлажненности в Западной Сибири на основе модели В.С. Мезенцева с учетом обратных связей // VI Всероссийская конференция с международным участием «Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове» посвященная 125-летию со дня рождения Ростислава Сергеевича Ильина. Сборник материалов. Томск, 2016. С. 53–57.

Аннотация. Дается оценка влияния климатических изменений на водный баланс и режим увлажненности Западно-Сибирской равнины с учетом обратных связей, генерируемых изменением характеристик ландшафта по мере изменения климата. Методологический подход основан на применении модели взаимосвязи теплового и водного баланса суши для определения характеристик тепло- и влагообеспеченности территории по климатическим данным в настоящее время и при полученных авторами прогнозных показателях изменения климата в 2021–2030 гг.

Ключевые слова: Водный баланс, Западная Сибирь, ландшафтная гидрология, изменения климата, климатообусловленная изменчивость гидрологических условий

13. **Копысов С.Г.** Ландшафтно-геофизические условия почвообразования // VI Всероссийская конференция с международным участием «Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове» посвященная 125-летию со дня рождения Ростислава Сергеевича Ильина. Сборник материалов. Томск, 2016. С. 179–183.

Аннотация. В статье представлена система уравнений учитывающих взаимодействие климатических и основных ландшафтно-геофизических факторов. При этом почвенный растительный покров выступает в роли индикатора экосистемных изменений. Представленные уравнения позволяют давать количественную оценку деятельного слоя почвенного покрова как естественному продукту ландшафта, а также прогнозировать изменение его гидрологических свойств в результате изменения климата и ландшафтных условий. Это основа для развития почвоведения как инженерной специальности.

Ключевые слова: Западная Сибирь, водный баланс, геофизика ландшафта, геоморфометрия, условия почвообразования

14. **Паромов В.В., Земцов В.А.** Оценка современных тенденций изменений количества осадков и приземной температуры воздуха в тундрово-таежной зоне Западной Сибири // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: труды Всероссийской конференции с международным участием. – Барнаул: «ГРАФИКС», 2014. Т. I. С. 151–157.

Аннотация. На основе данных многолетних наблюдений за приземной температурой воздуха и атмосферными осадками на 28 метеостанциях (из архива ВНИИГМИ-МЦД),

относительно равномерно расположенных по территории Западно-Сибирской равнины, с использованием статистических методов выполнена оценка произошедших изменений температуры воздуха и атмосферных осадков за климатические сезоны года по состоянию изученности на 2013 г. Дана оценка изменений температуры и осадков за год и сезоны в течение последних 30 лет по отношению к предшествовавшему периоду и географическая привязка этих изменений.

15. Герасимова В.Р., Дубровская Л.И., Земцов В.А. Гидрологический режим малых и средних заболоченных рек Васюганского болота в условиях регионального изменения климата // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: труды Всероссийской конференции с международным участием. Барнаул: «ГРАФИКС», 2014. Т. I. С. 204–209.

Аннотация. Целью работы является исследование сезонного распределения стока с заболоченных речных водосборов Васюганского болота и оценка возможного перераспределения стока между сезонами в связи с изменениями климата. Разбивка гидрологических сезонов выполнена отдельно для каждого года по гидрографам суточным расходов воды, при этом учтен сток последних лет.

Показаны многолетние тенденции изменения сроков и продолжительности гидрологических сезонов на реках, величины стока рек в половодье, летне-осенний период и зимнюю межень.

В результате получилась значительно более пестрая картина изменения сезонного стока по территории в сравнении с тем, как это выглядело на начало 21 в.

Ключевые слова: сезонный сток, фазы водного режима, заболоченный водосбор, Большое Васюганское болото

16. Земцов В.А., Паромов В.В., Копысов С.Г. Динамика гидрологических опасностей в Западной Сибири в условиях современных изменений климата // Речной сток: пространственно-временная изменчивость и опасные гидрологические явления. Сборник трудов Третьей открытой конференции Научно-образовательного центра. 13 ноября 2014. - Москва: кафедра гидрологии суши МГУ имени М.В. Ломоносова, ИВП РАН. 2014. С.131-144.

Аннотация. На основе данных многолетних наблюдений за приземной температурой воздуха и атмосферными осадками на 28 метеостанциях из архива ВНИИГМИ-МЦД, относительно равномерно распределенных по территории Западно-Сибирской равнины, с использованием статистических методов выполнена оценка произошедших за последние 30 лет изменений температуры воздуха и атмосферных осадков за климатические сезоны года по состоянию изученности на 2013 г. Выявлены масштабы и особенности климатической изменчивости, характерные для последних 30 лет (по отношению к базовому предшествовавшему периоду), и их географическое распределение. Показаны основные гидрологические опасности, динамика которых связана с изменениями климата и антропогенными воздействиями на водные объекты и их водосборные площади. Сделан вывод, что гидрологические последствия изменений климата в Западной Сибири отличаются высокой степенью пространственно-временной неоднородности и весьма

разнообразны. Определены наиболее опасные гидрологические явления, степень риска которых, вероятно, будет возрастать, причины такой динамики и характерные места распространения.

17. **Копысов С.Г.** Отражение экосистемных процессов в методе гидролого-климатических расчетов // Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове. Сборник материалов V Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ. Томск, 2015. С. 417-421.

Аннотация. Почва – это природная система, сформировавшаяся в результате взаимодействия потоков энергии и вещества. Также исследователи давно подчеркивают важную роль почв и напочвенного покрова в формировании стока, но приемлемого практического метода расчета величины стока в зависимости от свойств почв предложено не было. Наиболее перспективным методом расчета элементов водного баланса экосистем представляется метод гидролого-климатических расчетов (ГКР). Для учета ландшафтных условий при вычислении элементов водного баланса по методу ГКР используются специальные параметры. Зная минимально необходимую климатическую и экосистемную информацию, можно выполнить расчет среднесуточного испарения и стока для любого ландшафтного элемента, и наоборот.

Ключевые слова: экосистемные процессы, метод ГКР, почвенный покров, сток воды, растительность

18. **Zemtsov V., Kopysov S., Sinkinov V.** Thermokarst lakes in the south of permafrost zone of Western Siberia: a study of morphometry, water budget and water exchange rates // UArctic Congress 2016. Abstract Book. 12-16 September, St. Petersburg, Russia. 2016. P. 72.

Аннотация. Многочисленные термокарстовые озера в северных районах Западной Сибири играют значительную роль в продукции органического вещества, выделении углекислого газа и метана в атмосферу и влияют на изменения климата, таяние многолетней мерзлоты и изменение ландшафта. Морфометрия, гидрологический режим, водный баланс сибирских термокарстовых озер, как и состав грунтов озерной котловины и донные осадки недостаточно изучены до настоящего времени. Имеются только фрагментарные данные по морфологии и динамике термокарстовых озер. Нами проведены полевые исследования морфологии и динамики термокарстовых озер и их водосборов на юге зоны многолетней мерзлоты в районе научной станции Ханымей (63,8° с.ш., 75,5° в.д.). Комплекс работ включал инструментальные исследования морфометрии озер и их водосборов, состава и состояния донных отложений (тип донные отложения, наличие многолетней мерзлоты, торфа), высоты, плотности снежного покрова и запаса воды в сеге и др. С использованием космоснимков и результатов работ других исследователей, проведенных на севере Западной Сибири ранее, собраны данные, позволившие оценить средние многолетние значения составляющих водного баланса озер и их водосборных площадей, параметры интенсивности водообмена озер, такие, как интенсивность внешнего водообмена и время пребывания (обновления) воды в водоеме. Получена зависимость между площадью водной поверхности и коэффициентом водообмена и временем обновления воды в них. Результаты необходимы для более детальных исследований водного баланса территории и формирования стока воды и растворенных веществ.

19. **Земцов В.А., Паромов В.В.** Климатические изменения и их гидрологические последствия в Западной Сибири // Международная научно-практическая конференция «Вторые Виноградовские Чтения. Искусство гидрологии» памяти выдающегося русского ученого Ю.Б. Виноградова (18-22 14 ноября 2015 г., Санкт-Петербург). Сборник расширенных тезисов. – Санкт-Петербург. 2015. – С. 38-41.

Аннотация. Выявлены и уточнены количественно основные закономерности современных (за последние 30 лет по сравнению с предшествовавшим базовым периодом) изменений климата в разных природных зонах и районах исследуемой территории, заключающиеся а) в повышении с разной интенсивностью температуры воздуха, б) весьма пестром по территории изменении количества атмосферных осадков и режима их выпадения и в) появлении устойчивых (наблюдаемых в течение нескольких недель и даже сезонов года) синоптических структур, являющих причиной низкого (экстремально низкого в 2012 г. во всей Западной Сибири) или весьма высокого увлажнения территории и стока воды в соответствующие сезоны или за год в целом.

Ключевые слова: Западная Сибирь, изменения климата, гидрологические последствия изменения климата, опасные гидрологические явления и процессы

20. **Копысов С.Г.** Единство экосистемных и гидрологических процессов // Международная научно-практическая конференция «Вторые Виноградовские Чтения. Искусство гидрологии» памяти выдающегося русского ученого Ю.Б. Виноградова (18-22 ноября 2015 г., Санкт-Петербург). Сборник расширенных тезисов. – Санкт-Петербург. 2015. – С. 293-296.

Аннотация. На основе разрабатываемой в рамках метода гидролого-климатических расчетов В.С. Мезенцева модели, отражающей единство экосистемных и гидрологических процессов, появляются теоретические основы для прогнозных оценок изменения тепло- и воднобалансовых характеристик на разных уровнях пространственного разрешения по сценариям изменения климата.

Ключевые слова: изменение климата, сценарный прогноз, характеристики теплового баланса, характеристики водного баланса суши.

Полевые работы по гранту РФФИ 14-05-00700

Лесотундра. В августе 2014 года была начата работа по организации пунктов автоматизированного мониторинга стока воды на малых водотоках Западной Сибири. Один из таких пунктов организован в Ямало-Ненецком автономном округе на модельном участке Новый Уренгой - Пангоды. Для организации мониторинга был выбран ручей – верхний левый приток реки Седэяха с площадью водосбора 19 км² (65°49'42" с.ш., 75°24'01" в.д.).



Рис. 7. Модельный водосбор левого притока р. Седэяха

Для контроля учёта стока ежегодно измерялся расход в исследуемом ручье с помощью гидрометрической микровертушки ГМЦМ-1.



Рис. 8. Гидрометрическая микровертушка ГМЦМ-1



Расходомер на ручье

Имя: САМУВ_150

Координаты: N65°51'05,31"

E75°23'05,37"

(уровень и температура воды с
последующим расчётом расхода
воды)



Рис. 9. Общий вид ручья, на котором организован учёт стока



Озеро и бугристое болото

Имя: САМ_152

Координаты: N65°51'20,78" E75°20'59,64"

(уровень, температура и электропроводность воды, на берегу температура приповерхностного слоя над мерзлотой)



Рис. 10. Место установки комплекса приборов САМ-152 (вверху 2014 год (измерительная скважина устанавливалось ниже уровня воды), внизу 2016 год)



Рис.11. Блок управления автономной Системы автоматического мониторинга «САМ» после 2-х лет работы

В ходе экспедиции поставленные задачи были выполнены в полном объеме, кроме того нашей группе пришлось столкнуться с такими неприятностями, как частичное повреждение одной из систем мониторинга, предположительно, северным оленем и выхода из строя другой системы «САМ», вследствие полного затопления прибора. Систему пришлось полностью демонтировать для транспортировки в Томск, где ее осмотрели, починили и скачали массив данных, который прибор успел записать до затопления. Сам факт затопления был выявлен позже по полученным данным.

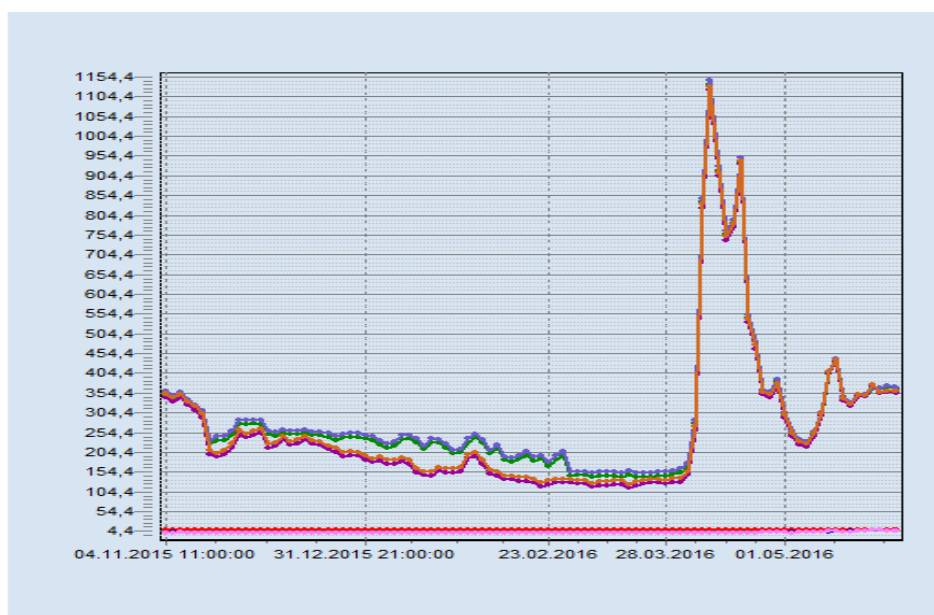


Рис. 12. Внешний вид графика параметров измеряемых системами «САМ» при считывании в полевых условиях

Водомерный пост был оборудован системой автоматического мониторинга «САМУВ» с двумя датчиками уровня воды. Данная система, разработана в ИМКЭС СО РАН, и позволяет измерять уровень и температуру воды с различными интервалами времени. Диапазон измеряемых температур колеблется от 0 до 50°C с погрешностью $\pm 0.2^\circ\text{C}$. Диапазон измеряемых уровней до 5 м, погрешность не более 1%.

В ходе экспедиционных исследований была проведена тахеометрическая съёмка, на основании которой был построен поперечный профиль русла и долины ручья. Так же были проведены измерения скоростей течения ручья, по результатам которых был получен расход воды. На основании полученного расхода воды по гидравлическим формулам был определён коэффициент шероховатости русла.

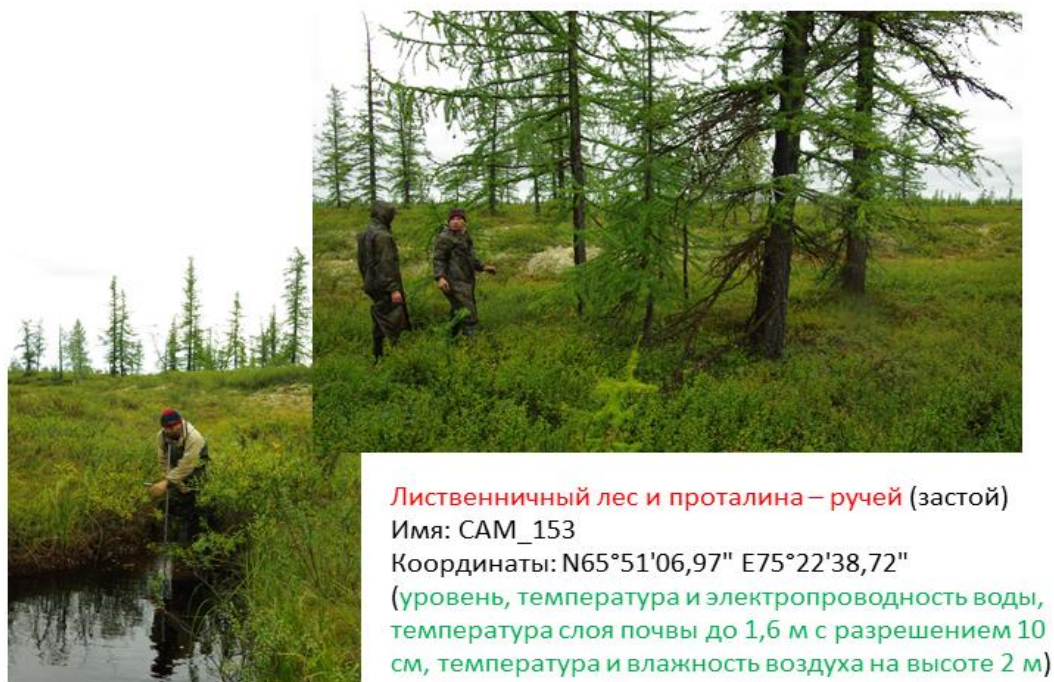


Рис. 13. Место установки комплекса приборов САМ-153 (работал до затопления блока управления в апреле 2015 года)

По данным автоматического мониторинга в осенний период температура воздуха на высоте 2 м имеет ярко выраженный суточный ход. Максимальная зарегистрированная температура 23,5°C, минимальная -9,3 °C. Температура почвогрунта в до 20-х чисел сентября на глубине 120-160 см растёт. При приближении суточных температур к температуре фазового перехода устанавливается однородный термический режим на глубине от 20 до 160 см при температуре песчаной почвы 2-3 °C. В этот период дневное повышение температуры вызывает таяние снега и тем самым приводит к увеличению стока (расход воды в ручье растёт).

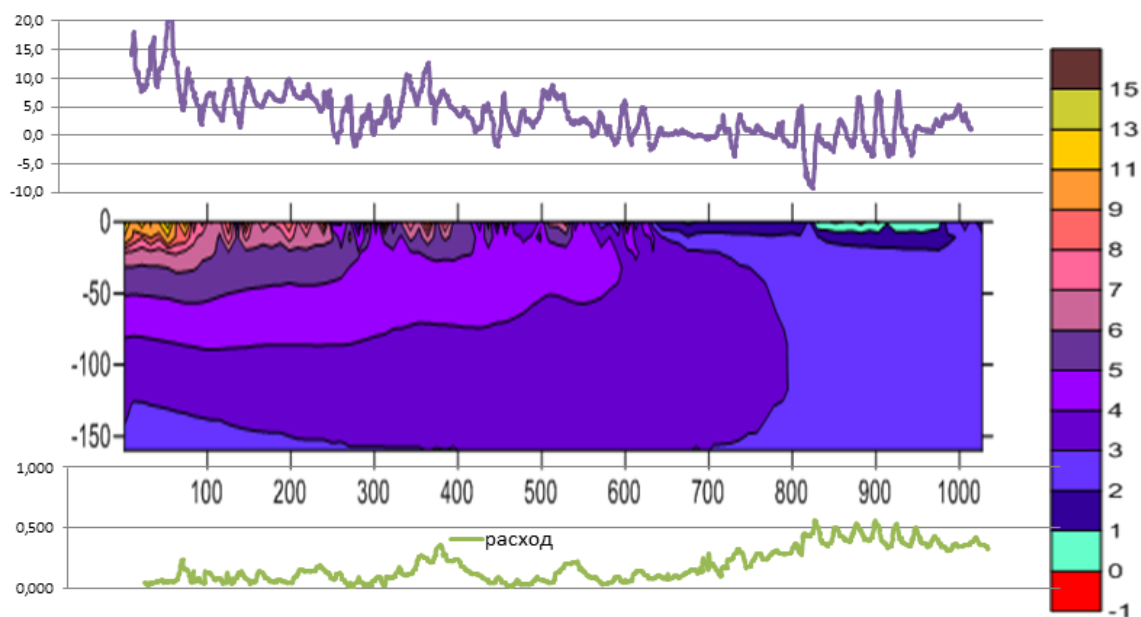


Рис. 14. Динамика температуры воздуха на высоте 2м и почвенного слоя (160 см) в лиственничнике за период с 22 августа по 3 октября 2014 года

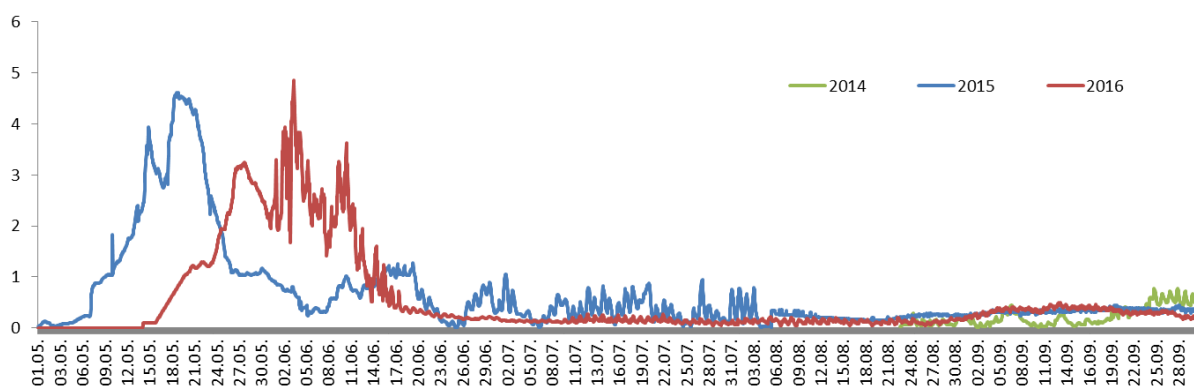


Рис. 15. Рассчитанные по измеренным уровням гидрографы стока, м³/с

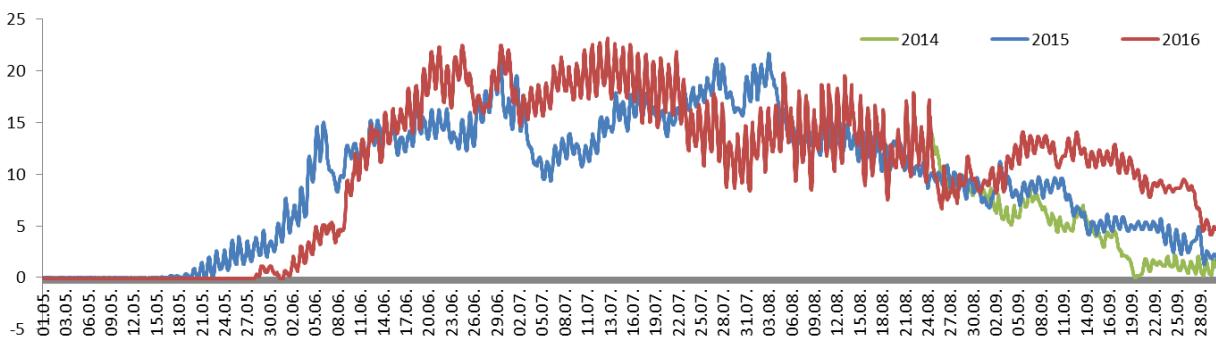


Рис. 16. Измеренные температуры воды в ручье

Южная тайга. Выбор модельного водосбора был обусловлен следующими факторами: выраженным рельефом, позволяющим однозначно определить границы водосбора и обеспечивающим разнообразие ландшафтных условий, и относительная близость к городу, обеспечивающая возможность регулярных натуральных наблюдений, в сочетании со слабой антропогенной нагрузкой на водосбор.

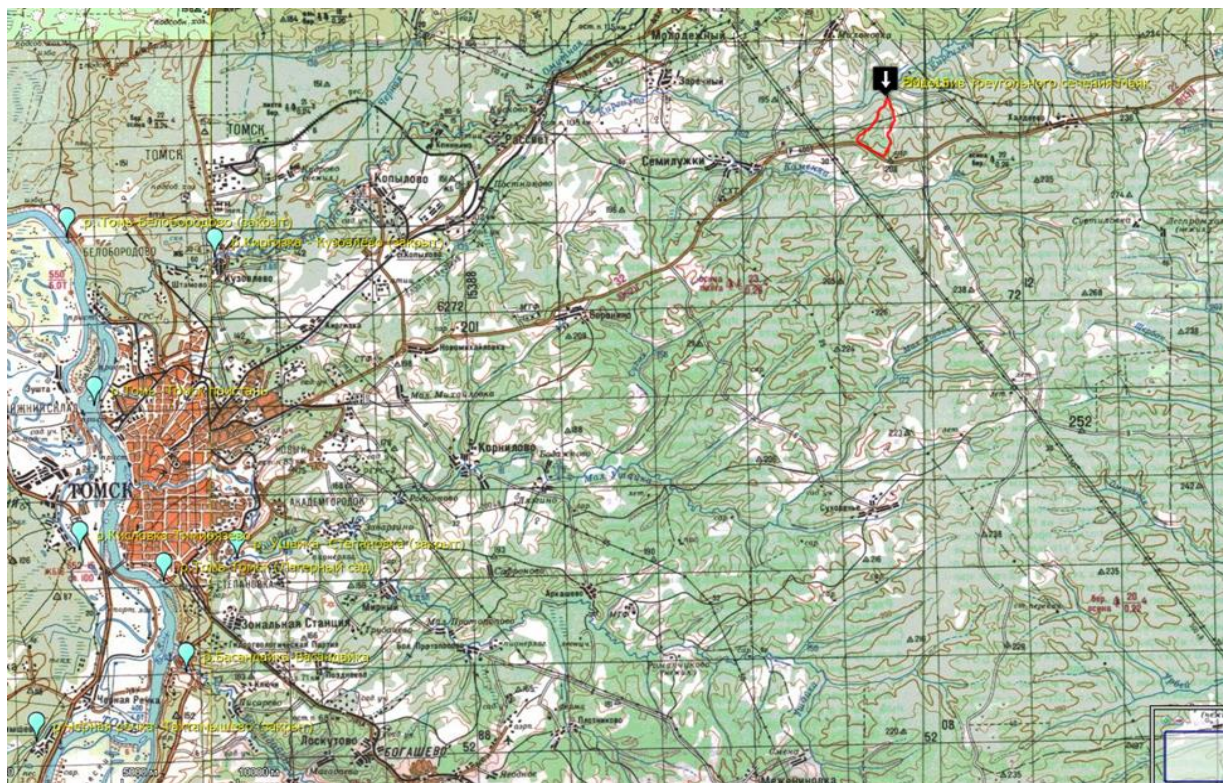


Рис. 17. Расположение Северо-Алтайского модельного водосбора на Томь-Яйском междуречье

Северо-Алтайский модельный водосбор расположен на междуречье рек Томь и Яя на юго-востоке Западно-сибирской равнины (рис. 17). Водосбор находится от Томска в 30 км в северо-восточном направлении, в бассейне реки Киргизка, и отвечает всем требованиям, предъявляемым к модельным водосборам, поэтому с 2015 года является базовым для проведения комплексного ландшафтно-гидрологического (экосистемного) мониторинга.

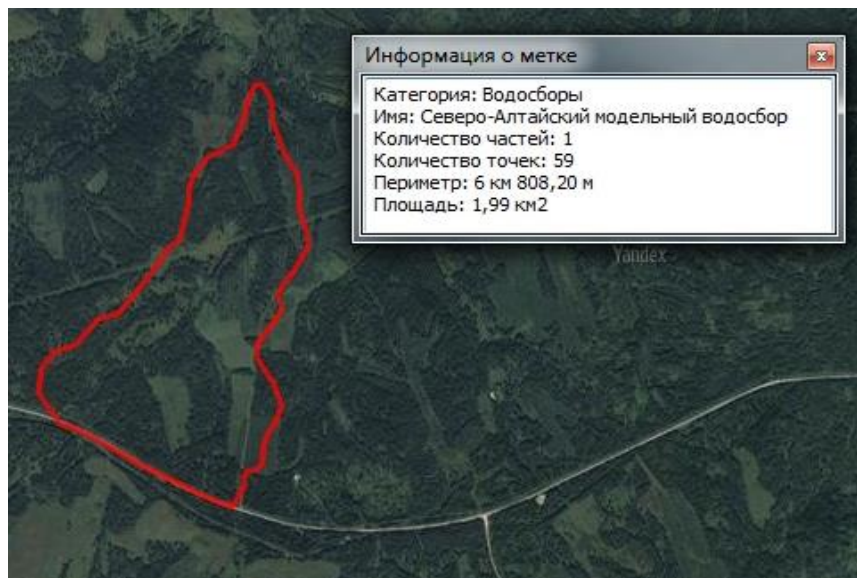


Рис. 18. Основные характеристики модельного водосбора в зоне Южной тайги



Рис. 19. Оборудование для водно-балансовых исследований на южно-таежном водосборе

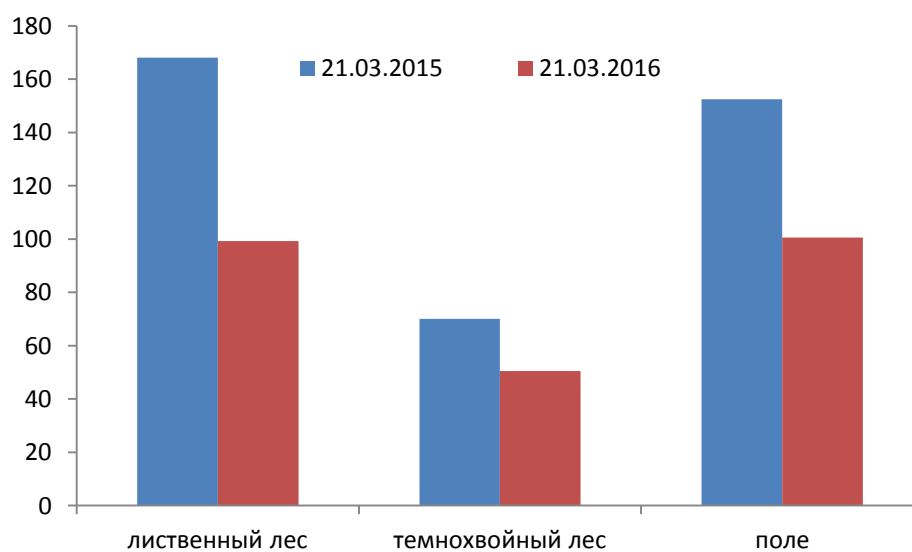


Рис. 20. Распределение запаса воды (мм) в снежном покрове на водосборе

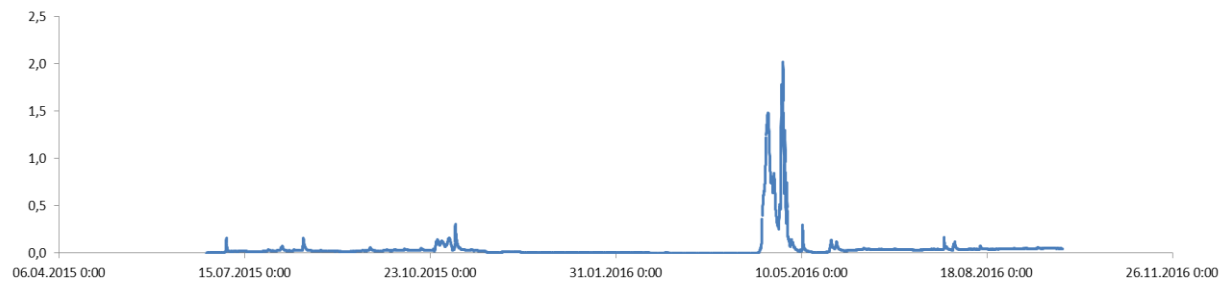


Рис. 21. Гидрограф стока ручья, м³/с

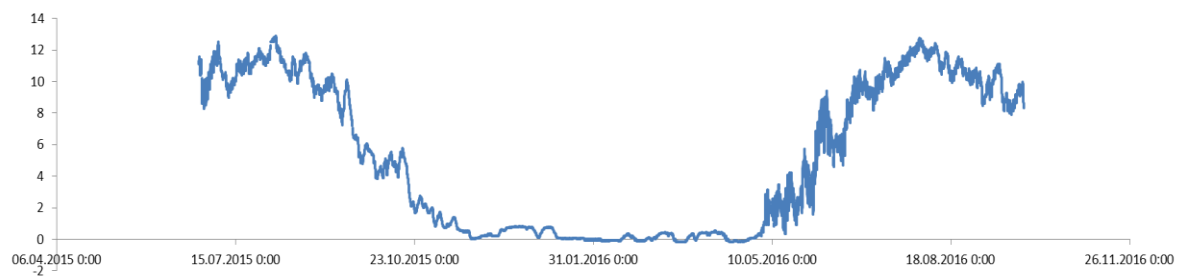


Рис. 22. Ход температуры воды в ручье

Анализ суточных колебаний температуры воды указывает на то, что устойчивый ледостав на ручье наблюдался с 10 ноября 2015 года по 17 апреля 2016 года. В летний период понижение температуры указывает на выпадение дождей.

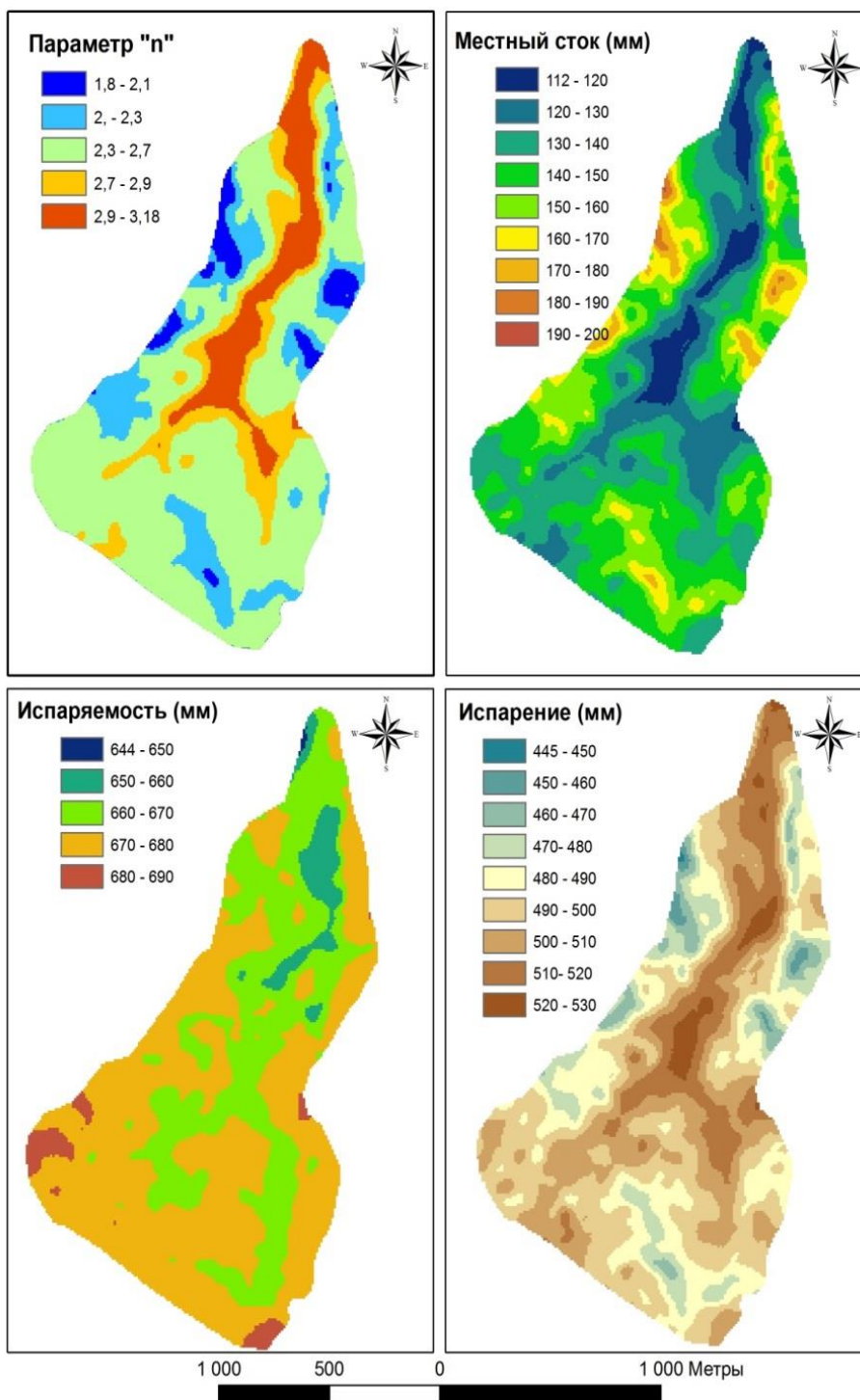


Рис. 23. Распределение условий стока и нормы водно-балансовых элементов по водосбору