

УДК 556.161

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА РЕКИ ЧАРЫШ (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)

А.В. Кудишин, О.В. Ловцкая, С.Ю. Самойлова, А.Б. Голубева

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

E-mail: kudishin@iwep.ru, lov@iwep.ru, bastet@iwep.ru, pticagolub@mail.ru

Представлена компьютерная модель формирования стока на водосборе р. Чарыш. В модели учитывается пространственная неоднородность процессов формирования стока и используется детализация описания процессов трансформации стока по вертикали (поверхностный, подповерхностный и грунтовый сток). Используются два источника данных для определения количества осадков на водосборе: данные метеостанций и набор данных Persiann-CDR. Проведен анализ использованных в расчетах стока указанных моделей пространственного распределения осадков. Выявлено, что данные метеостанции Усть-Кан дают сильно заниженные значения слоя осадков для зимы 2009 года, недостаточные для формирования наблюдаемого талого стока. Выполнена верификация модели формирования стока на водосборе р. Чарыш для условий 2009 года с использованием двух моделей осадков.

Ключевые слова: гидрология; модели формирования стока; бассейн р. Чарыш; распределение осадков; Persiann-CDR.

DOI: 10.24412/2410-1192-2022-16704

Дата поступления: 1.11.2022

Создание и апробация методик краткосрочного прогнозирования уровня воды р. Обь в верхнем ее течении является важной научной задачей, результаты решения которой востребованы региональными службами МЧС для мониторинга развития ситуации во время паводков и дождевых паводков. Одним из направлений решения таких задач является разработка детерминированных пространственно-распределенных моде-

лей формирования стока, достаточно детально описывающих физические процессы на водосборе. Материал данной статьи содержит некоторые результаты по разработке и совершенствованию методов математического моделирования формирования стока в речных системах и адаптации разработанных математических моделей к условиям бассейна реки Обь.

В качестве объекта исследования выбран бассейн р. Чарыш.

В верхнем течении Чарыш протекает по горной местности, в нижнем течении выходит на равнину. Питание реки смешанное с преобладанием снегового. Поверхностный сток в верховьях формируется за счет талых вод – 49%, дождевых осадков – 30% и грунтовых вод – 21% [Ресурсы..., 1962].

Половодье многопиковое, растянутое (с апреля по июль) за счет таяния снега сначала на равнине, позднее в горах на разных высотах. Эти особенности позволяют комплексно проводить апробацию разрабатываемых моделей водосбора.

Материалы и методы

Компьютерная модель стока для бассейна р. Чарыш создана на основе разрабатываемой в ИВЭП СО РАН [Зиновьев и др., 2017; Кудишин, 2019] модели талого и дождевого стока. Модель использует в качестве расчетных элементов элементарные водосборы. Связь речных участков (и, соответственно, водосборов) друг с другом определяется в виде графа. В модели используются законы сохранения массы, учитывается пространственная неоднородность процессов формирования стока и детализация процессов трансформации стока по вертикали (поверхностный, подповерхностный и грунтовый сток). Подобный тип моделей реализован в большинстве современных систем

(ECOMAG [Motovilov, 1999], HEC-HMS [Hydrologic..., 2016] и др.), моделирующих процессы формирования стока. Детализация процессов трансформации стока по вертикали представлена на рисунке 1.

Расчетная область в плане определяется границей водосбора, рассчитанной по гидрологически корректной цифровой модели рельефа (ЦМР). Пространственное разрешение цифровой модели территории, используемой в ходе цифрового моделирования, определяется площадью рассматриваемого водосбора и детализацией имеющихся данных. В настоящей работе использована ЦМР, построенная по топографическим картам масштаба 1:100000.

На основе ЦМР выполнена схематизация речного бассейна в соответствии с требованиями расчетной гидрологической модели. Результатом схематизации является структурное деление территории на связанные элементарные водосборы (элементы расчетной области) и древовидный граф речной сети. Вычислены гидрологические параметры, определяющие формирование поверхностного стока (длина и уклон водотока, площадь и уклон подбассейна) [Пьянков, Шихов, 2017; HEC-GeoHMS..., 2013]. Расчетная область бассейна р. Чарыш показана на рисунке 2.

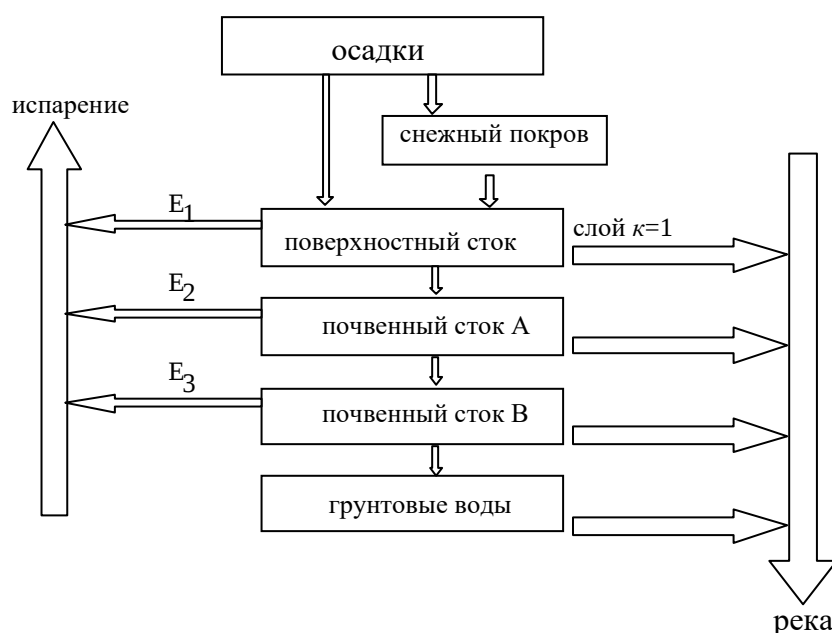


Рис. 1. Процесс трансформации стока по вертикали

Fig. 1. Vertical transformation of runoff

Моделирование гидрологических процессов на каждом элементарном водосборе выполняется для четырех уровней: поверхностный сток, верхний слой почвы (горизонт А), подстилающий более глубокий слой (горизонт В) и грунтовые воды. В холодный период учитывается снежный покров (рис.1).

Необходимые для расчета физические параметры бассейна р. Чарыш определяются на основе глобальных или региональных баз картографических данных (типы, механический состав и водно-физические характеристики почв, типы и характеристики растительности и ландшафтов). Для определения механических свойств почвы использована глобальная почвенная базы данных Harmonized World Soil Database (HWSD) [Harmonized..., 2012]. Почвенная база данных HWSD – это растровая база

данных с разрешением 30'', содержащая более 15000 единиц почвенного картирования и набор атрибутивных данных в формате MS Access. Для каждого почвенного контура в атрибутивной таблице содержится информация о параметрах для каждого типа почв (горизонтов А и В): доля (%) гравия, песка, глины, пыли и органического вещества, объемная плотность, мощность горизонта почвы, текстурный и гранулометрический класс и другие физико-химические показатели. На рисунке 3 приведена почвенная карта бассейна р. Чарыш, подготовленная по данным HWSD. Для легенды карты используется показатель Topsoil USDA Texture Classification – текстурный класс верхнего слоя почвы (0–30 см) по классификации USDA (Департамент сельского хозяйства США) [Harmonized..., 2012].

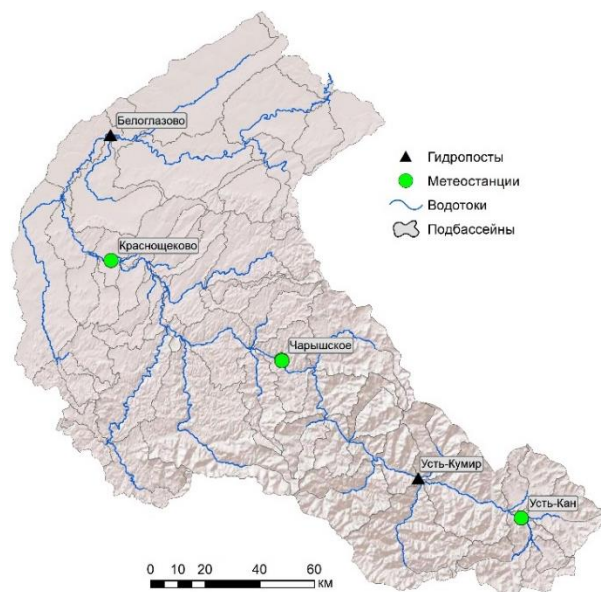


Рис. 2. Расчетные элементы водосборного бассейна р. Чарыш

Fig. 2. Estimate elements of the Charysh basin

В [Мотовилов и др., 2018, с. 59] отмечается, что подобного типа модели «наиболее чувствительны к изменению 6-ти параметров, среди которых вертикальный и горизонтальный коэффициенты фильтрации для типов почв, температурный коэффициент стаивания снега, мощность верхнего активного

почвенного слоя и максимальное поверхностное задержание для типов растительности, а также коэффициент испарения. Из этих шести параметров наиболее широкий диапазон изменения значений имеют коэффициенты фильтрации почв, и их необходимо особенно тщательно калибровать».

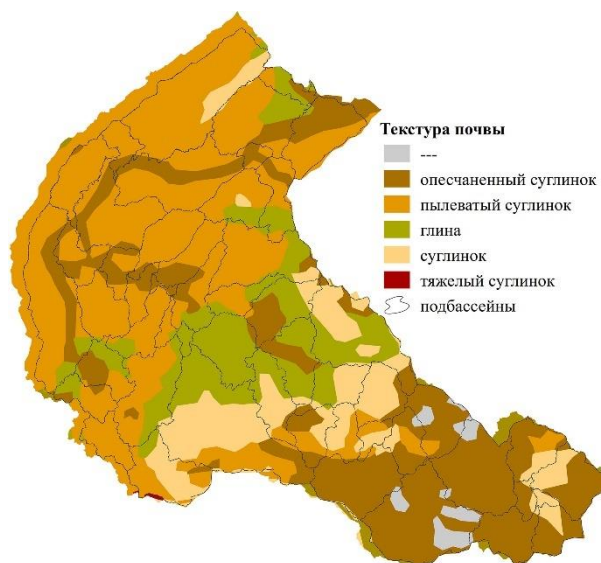


Рис. 3. Характеристики почв бассейна р. Чарыш

Примечание: Классы гранулометрического состава почв (текстура) указаны по [Мировая..., 2017]

Fig. 3. Soil characteristics of the Charysh basin

Note: Soil granulometric composition (texture) classes of are indicated by [World Reference ..., 2017]

Характеристики растительности и ландшафтов, необходимые для оценки параметров, определены на основе ландшафтной карты и карты растительности Алтайского края [Филимонов и др., 2021]. Поскольку растительность, ландшафт и почва являются взаимозависимыми факторами, разработан алгоритм и программное обеспечение, позволяющие строить в рамках выделенного бассейна области с уникальными комбинациями растительности, ландшафта и почвы. Такой подход позволяет точнее определять ряд гидрологических и физических характеристик (инфильтрация, затененность, влагоемкость), необходимых для гидрологических моделей водосбора.

Количество осадков, выпадающих на водосбор, – важнейший фактор формирования стока. Он оказывает существенное влияние на качество прогнозов объема стока, расходов и уровней воды в реках.

При условии достаточной плотности сети метеостанций оценка количества и пространственного распределения осадков может быть получена путем пространственной интерполяции [Пьянков, Шихов, 2017]. Интерполяция сумм осадков по данным наблюдательной сети (при условии ее достаточной густоты) показывает хорошие результаты для равнинных бассейнов [Аполлов и др., 1974; Пьянков, Шихов, 2017; Гусев и др.,

2019]. Расчет полей осадков в горных районах осложняется вертикальной зональностью ландшафтно-климатических условий. Для оценки сумм осадков в горных районах традиционно в гидрологических исследованиях используются методы интерполяции на основе вертикальных градиентов (зависимость сумм осадков от абсолютной высоты) [Пьянков, Шихов, 2017; Бураков, Гордеев, 2017, Георгиевский, Шаночкин, 1987]. Использование этого метода для бассейна р. Чарыш ограничено недостаточностью сети наблюдений на склонах хребтов и водоразделах – в областях, где формируется основной объем стока. Метеорологическая станция Усть-Кан не является репрезентативной для высокогорной части бассейна, т.к. расположена в межгорной котловине. По данным исследований на Алтае [Винокуров и др., 2008], сумма осадков дна котловины и ее горного обрамления может отличаться в несколько раз.

Тем не менее, для проверки возможности использования такого подхода создана база метеорологических данных наблюдений по метеостанциям Краснощеково, Чарышское, Усть-Кан. Зоны влияния метеостанций определены на основе равноудаленности центра расчетного элемента от метеостанции и показаны на рисунке 4.

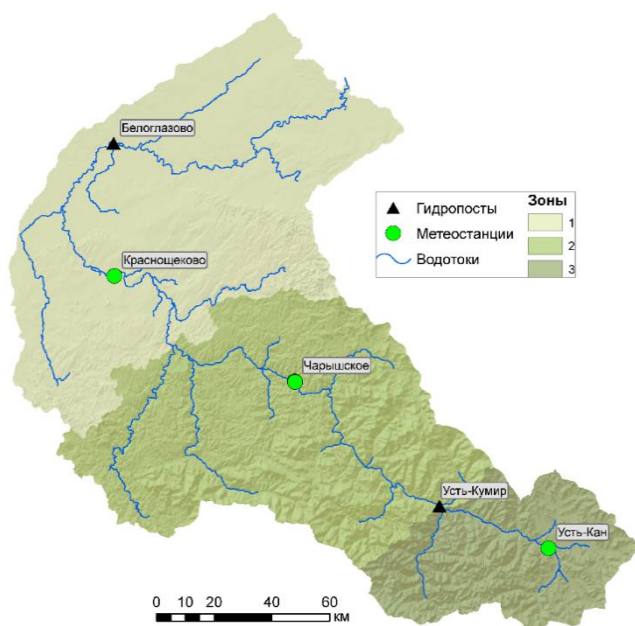


Рис.4. Зоны влияния используемого набора метеостанций (Краснощечково, Чарышское, Усть-Кан)
Fig. 4. Zones of weather stations influence (Krasnoshchekovo, Charyshskoye, Ust-Kan)

Поскольку область расчета ограничена створом гидропоста р. Чарыш – с. Белоглазово, на равнинной части водосбора р. Чарыш учитывались только данные метеостанции Краснощечково.

В качестве альтернативного источника данных о количестве осадков, выпавших на водосбор, в работе использован набор данных PERSIANN-CDR [Nguyen и др., 2019]. PERSIANN-CDR (Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks – Climate Data Record) обеспечивает оценки суточных осадков на сетке $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ для полосы 60°N – 60°S за период с 1.01.1983 г. по настоящее время.

На основе математической модели, предложенной в [Зиновьев и др., 2017; Кудишин, 2019], подготовленной пространственной информации и

гидрометеорологических данных построена компьютерная модель формирования стока на водосборе реки Чарыш.

Верификация и калибровка моделей формирования поверхностного стока проведена по данным наблюдений по гидропостам реки Чарыш: с. Белоглазово, с. Чарышское, с. Усть-Кумир, включающим ежедневные уровни и расходы.

Результаты и обсуждение

Верификация модели формирования стока на водосборе р. Чарыш выполнена для условий 2009 года с использованием двух моделей распределения осадков. В период формирования талого стока выявлено значительное отклонение рассчитанных гидрографов от наблюдаемых на гидропостах. На рисунке 5 представлены гидрографы для г/п Белоглазово.

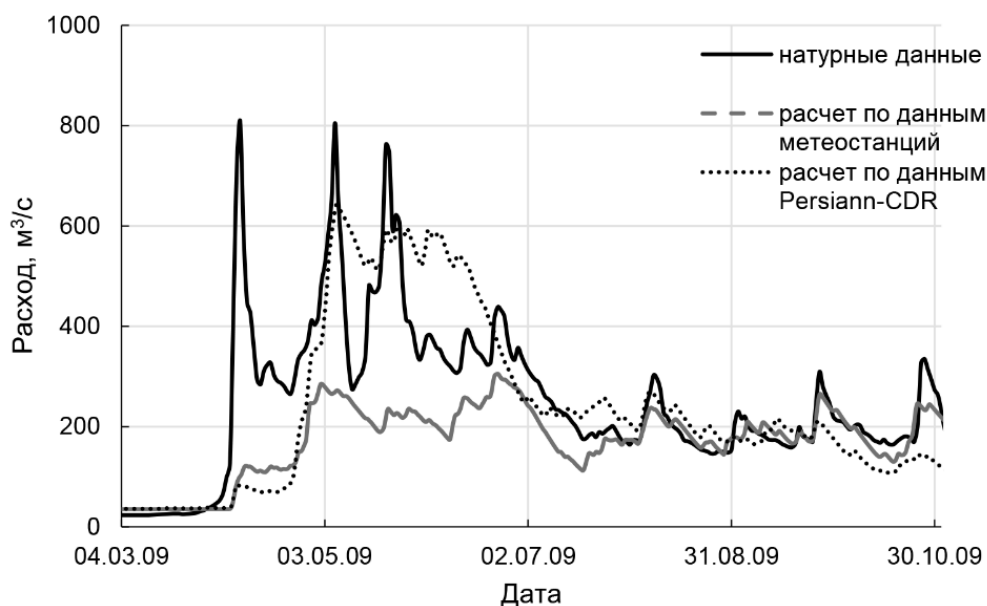


Рис. 5. Результаты расчета формирования стока на водосборе р. Чарыш за 2009 г. (г/п Белоглазово)
Fig.5. Calculation results of runoff formation throughout the Charysh basin for 2009 (gauge Beloglazovo)

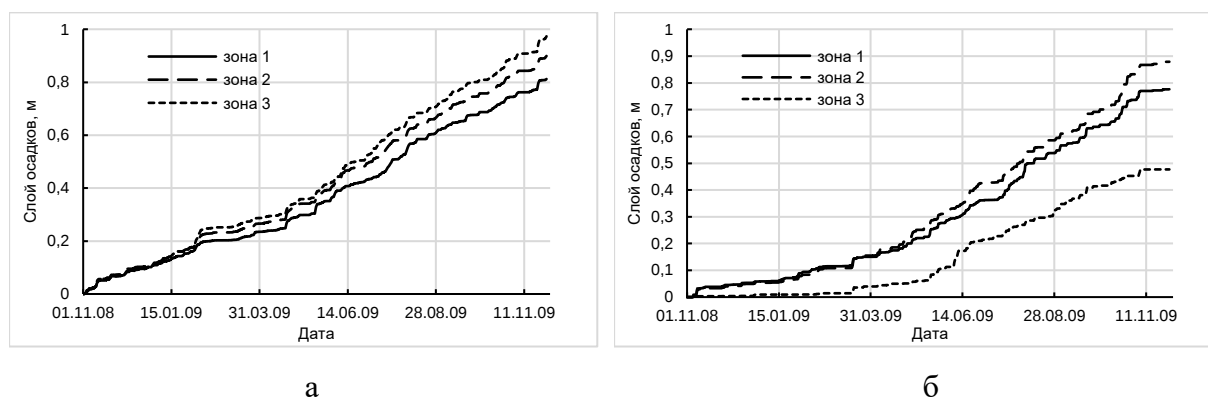


Рис. 6. Интегральные кривые осадков для выделенных зон: а – слой осадков по данным Persiann-CDR, б – слой осадков, рассчитанный по данным метеостанций
Fig. 6. Precipitation mass curves for selected zones: а – precipitation depth according to the Persiann CDR data, б – precipitation depth calculated from the weather station data

Очевидны существенные различия для применяемых моделей осадков: данные Persiann-CDR показывают более высокие значения расходов воды по сравнению с данными метеостанций.

Слои осадков (удельные объемы), рассчитанные по каждому из источников метеоданных, также имеют существенное различие.

На рисунке 6 показаны интегральные кривые осадков (слой осадков за заданный период), вычисленные по данным Persiann-CDR (рис. 6а) и по данным метеостанций (рис. 6б). Слой осадков рассчитан для трех водосборных областей (рис. 4): 1 – водосбор между гидропостами Белоглазово и Чарышское (преимущественно равнинная зона); 2 – Чарышское и Усть-

Кумир (предгорья); 3 – водосбор г/п Усть-Кумир (горная часть).

В целом, модель Persiann-CDR для всех зон дает близкие значения слоя осадков, данные метеостанций дают близкие значения слоя осадков для зон 1 и 2. Наибольшая разница между моделями осадков выявлена для водосбора г/п Усть-Кумир в зимний период. Как и предполагалось, данные метеостанции Усть-Кан дают сильно заниженные значения слоя осадков, недостаточные для формирования наблюдаемого талого стока. По данным инструментальных исследований связи снеготаяния и талого стока, коэффициенты стока (отношение слоя стока к сумме осадков, выпавших на территорию водосбора) для рек среднегорной и высокогорной зоны Алтая составляют порядка 0.65 – 0.9 [Комлев, 1966, Снежно-водно-ледниковые...,

1986], в зависимости от расположения бассейна, геолого-геоморфологических условий, состава почвогрунтов и характера растительности. Коэффициенты стока в горах, как правило, увеличиваются с увеличением абсолютной высоты и изменяются из года в год, по сравнению с равнинными бассейнами, незначительно [Георгиевский, Шаночкин, 1987].

Рисунок 7 показывает, что слой осадков (по данным метеостанции Усть-Кан) на момент начала снеготаяния (1 декада апреля, область резкого роста слоя стока) составляет всего 4 см (коэффициент стока больше единицы) и не может формировать наблюдаемый талый сток. При этом слой осадков по модели Persiann-CDR на момент начала снеготаяния составляет 29 см и лучше соответствует наблюдаемым объемам талого стока.

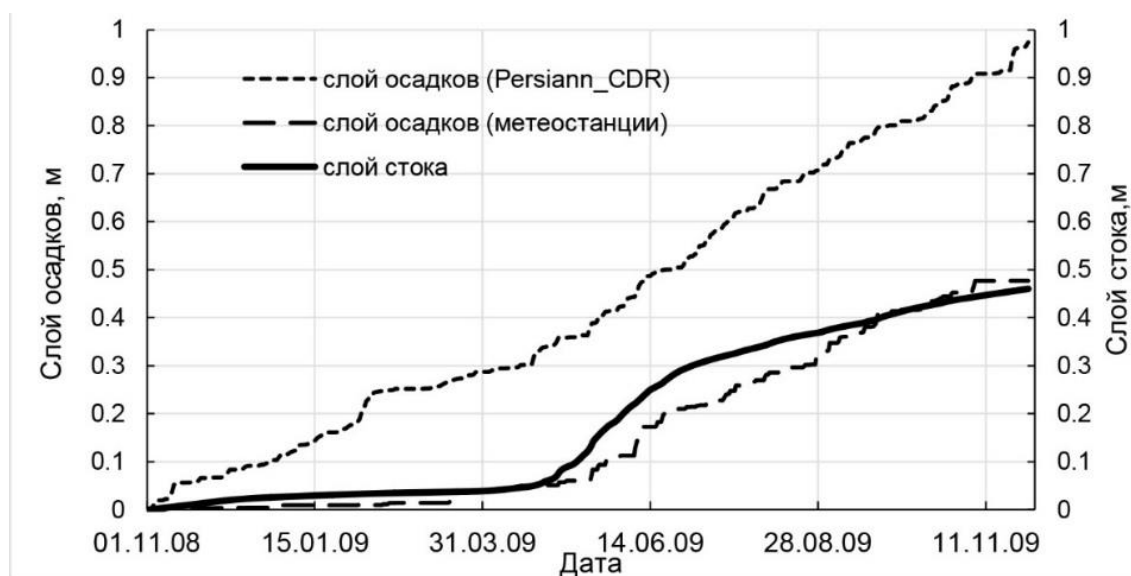


Рис. 7. Интегральные кривые осадков и стока в зоне 3
Fig. 7. Discharge and precipitation mass curves in zone 3

Различие рассчитанных и наблюдаемых гидрографов для г/п Усть-Кумир (рис. 8) в целом соответствует различиям (рис. 7), обусловленным применением той или иной модели осадков. Для зоны 3 данные Persiann-CDR позволяют получить лучшие результаты для

периода формирования талого стока, для летне-осеннего периода предпочтительнее использовать данные метеостанции Усть-Кан.

В целом, модель формирования стока в этой зоне показала неудовлетворительные результаты.

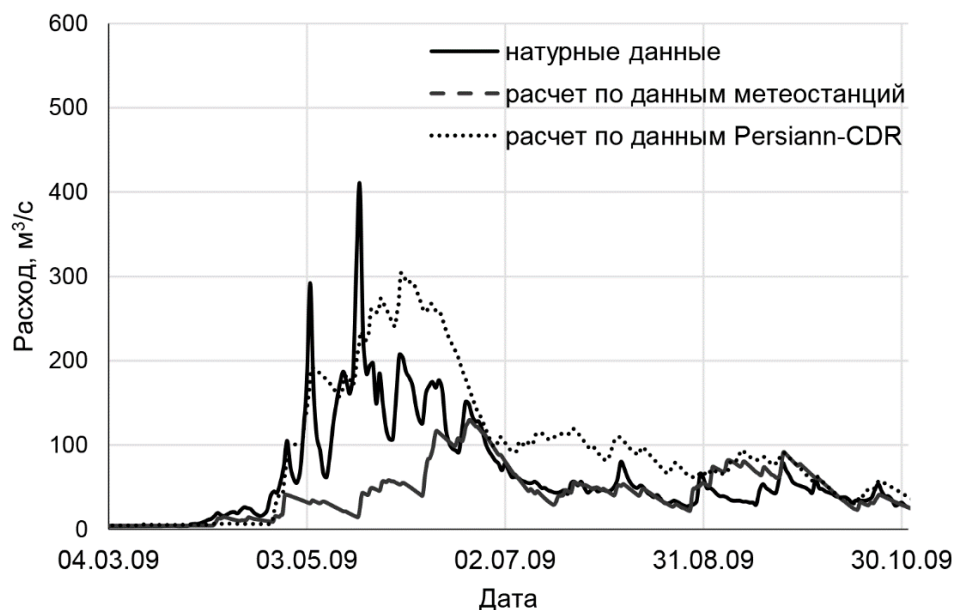


Рис. 8. Гидрографы для г/п Усть-Кумир
Fig. 8. Hydrographs for gauge Ust-Kumir

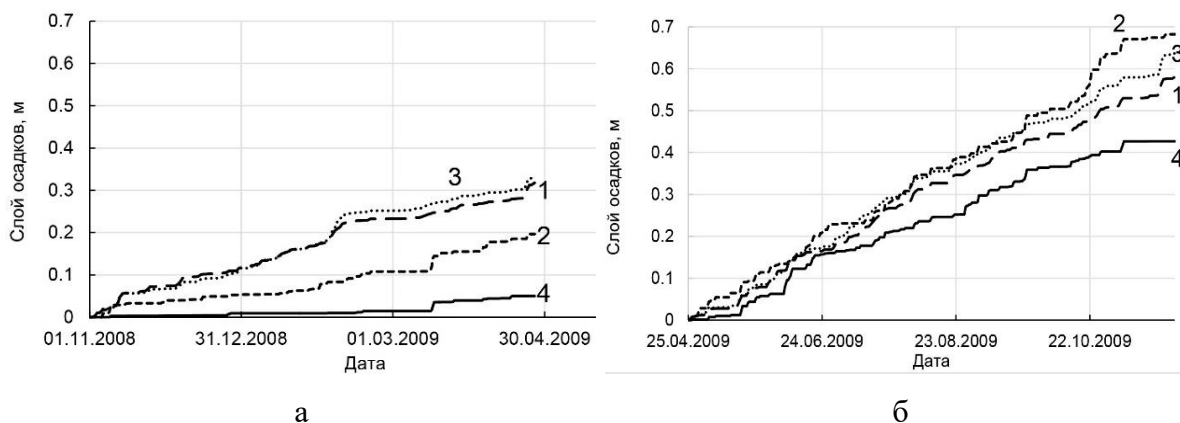


Рис. 9. Интегральные кривые осадков для 2 и 3 зон: а – зимне-летний период; б – летний период.

1 – слой осадков Persiann-CDR (зона 2); 2 – слой осадков по метеостанции (зона 2);

3 – слой осадков Persiann-CDR (зона 3); 4 – слой осадков по метеостанции (зона 3)

Fig. 9. Precipitation depth for zones 2 and 3: а – winter-summer period; б – summer period.

1 – Persiann-CDR precipitation depth (zone 2); 2 – precipitation depth according to the weather station (zone 2); 3 – Persiann-CDR precipitation depth (zone 3); 4 – precipitation depth according to the weather station (zone 3)

Следует отметить, что в рассматриваемый период набор данных Persiann-CDR для первой и второй зоны зимой дает завышенные значения осадков по сравнению данными метеостанций, летом – занижает. Для зоны три проявляется противоположная тенденция. Этот факт иллюстрируется рисунками 9а, б. Поскольку зоны один и два качественно и количественно дают достаточно близкие результаты, первая зона на рисунках 9а и 9б не представлена.

Для проверки работоспособности модели в остальных областях водосбора р. Чарыш участок водосбора г/п Усть-Кумир (третья зона) исключен из расчета. В качестве граничного условия для

новой расчетной области (г/п Белоглазово – г/п Усть-Кумир) использовались натурные данные по расходу для г/п Усть-Кумир. Результаты расчета гидрографа для г/п Белоглазово по этой схеме представлены на рисунке 10 и показывают лучшее совпадение расчетных и наблюдаемых гидрографов. Существенные различия наблюдаются для апреля, что косвенно указывает на использование в модели водосбора заниженных значений теплообмена «снег – атмосфера» и, соответственно, заниженной интенсивности снеготаяния. Это может быть обусловлено недостаточным учетом свойств ландшафта (затенение растительностью, наклон поверхности).

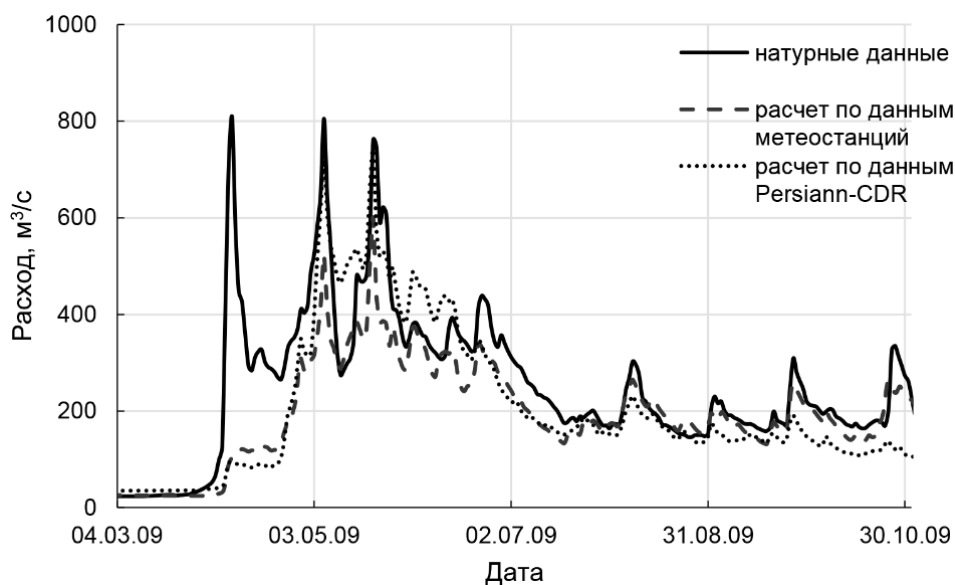


Рис. 10. Результаты расчета гидрографа в г/п Белоглазово для водосбора от г/п Белоглазово до г/п Усть-Кумир

Fig. 10. Results of hydrograph calculation at gauge Beloglazovo for the catchment area from gauge Beloglazovo to gauge Ust-Kumir

Выводы

Проведенный анализ показал, что по значениям осадков метеорологическая станция Усть-Кан не является репрезентативной для высокогорной части бассейна в зимний период, по крайней мере, для условий 2009 года. Данные метеостанции Усть-Кан дают заниженные значения слоя осадков, недостаточные для формирования наблюдаемого талого стока. Таким образом, в условиях сложного рельефа существующая весьма разреженная наблюдательная сеть не позволяет получить объективную картину пространственно-временного распределения осадков, и ее данные могут

использоваться только как точки верификации метеорологических моделей.

Набор данных Persiann-CDR зимой дает существенно большие значения слоя осадков по сравнению с данными метеостанций, а летом для равнинных участков водосбора несколько ниже.

Выбор модели осадков оказывает значительное влияние на результаты моделирования стока. Для задач моделирования в условиях 2009 года данные Persiann-CDR являются более предпочтительными. В целом, проведенные расчеты по представленной компьютерной модели формирования стока на водосборе р. Чарыш подтвердили ее работоспособность.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of Interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (проект «Изучение механизмов природных и антропогенных изменений количества и качества водных ресурсов Сибири с использованием гидрологических моделей и информационных технологий»).

Список литературы

Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. М.: Гидрометеиздат, 1974. 422 с.

Бураков Д.А. Гордеев И.Н. Оценка предвесенних снегозапасов в бассейнах Красноярского и Саяно-Шушенского водохранилищ // География и природные ресурсы. 2013. № 1. С. 72–78.

Винокуров Ю.И., Галахов В.П., Самойлова С.Ю. и др. Опыт использования ледников для оценки современного увлажнения (Чуйская котловина, Юго-Восточный Алтай) // Проблемы региональной экологии. 2008. № 6. С. 58–62.

Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В. Прогнозы стока горных рек. Л.: Изд. ЛПИ, 1987. 55 с.

Гусев Е.М., Насонова О.Н., Шурхно Е.А., Джоган Л.Я., Айзель Г.В. Физико-математическое моделирование многолетней динамики составляющих водного баланса и снегозапасов в Обь-Иртышском речном бассейне // Водные ресурсы. 2019. Т. 46, №4. С. 347–358. doi: 10.31857/S0321-0596464347-358

Зиновьев А.Т., Кудишин А.В., Коломейцев А.А., Ловцкая О.В., Филимонов В.Ю. Модель формирования талого стока на малых водосборах на примере реки Лосиха (Алтайский край) // Известия АО РГО. 2017. №3(46). С. 74–79.

Комлев А.М., Титова Ю.В. Формирование стока в бассейне р. Катунь. Новосибирск: Наука, 1966. 155 с.

Кудишин А.В. Модель формирования дождевого стока на примере реки Майма (Алтайский край) // Известия АО РГО. 2019. №4(55). С. 77–81. doi: 10.24411/2410-1192-2019-15508

Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014. Испр. и доп. ФАО и МГУ, 2017. 203 с.

Мотовилов Ю.Г., Гельфан А.Н. Модели формирования стока в задачах гидрологии речных бассейнов. М.: Изд. Российской академии наук, 2018. 300 с. doi: 10.31857/S9785907036222000001

Пьянков С.В., Шихов А.Н. Геоинформационное обеспечение моделирования гидрологических процессов и явлений. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2017. 148 с.

Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Вып. VI. Равнинные районы Алтайского края и южная часть Новосибирской области / Ред. В.А. Урываева. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 977 с.

Снежно-водно-ледниковые ресурсы бассейна Верхней Оби и прогнозы стока весеннего половодья. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1986. 254 с.

Филимонов В.Ю., Ловцкая О.В., Голубева А.Б. Компьютерное моделирование дождевого стока в бассейне реки Чарыш с использованием программного комплекса НЕС-HMS // Известия АО РГО. 2021. №1(60). С. 45–57. doi: 10.24412/2410-1192-2021-16004

Harmonized World Soil Database (version 1.2). FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria, 2012. [Электронный ресурс]. URL: <https://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML> (дата обращения: 22.07.2022).

HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension User's Manual Version 10.1
Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA. U.S.
ArmyCorpsOfEngineers. 2013. [Электронный ресурс]. URL: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/documentation/HEC-GeoHMS_Users_Manual_10.1.pdf (дата обращения: 22.07.2022).

Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) User Guide: Version 4.2. Institute for Water
Resources, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA. U.S. Army Corps of Engineers. 2016
[Электронный ресурс]. URL: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Users_Manual_4.2.pdf (дата обращения: 22.07.2022).

Motovilov Yu.G., Gottschalk L., Engeland K., Belokurov A. ECOMAG a regional model
of the hydrological cycle. Application to the NOPEX area. Institute Report Series no. 105.
Department of Geophysics, University of Oslo, 1999. 88 с.

Nguyen P., Shearer E., Tran H., Ombadi M., Hayatbini N., Palacios T., Huynh P.,
Braithwaite D., Updegraff G., Hsu K., Kuligowski B., Logan W., Sorooshian S. The CHRS
Data Portal, an easily accessible public repository for PERSIANN global satellite precipitation
data. Sci Data. 2019. Jan. 6:180296. doi: 10.1038/sdata.2018.296

References

Apollov B.A., Kalinin G.P., Komarov V.D. Kurs gidrologicheskikh prognozov [A course
of hydrological forecasts]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1974. 422 p. (In Russian).

Burakov D.A., Gordeev I.N. Otsenka predvesennikh snegozapasov v basseynakh
Krasnoyarskogo i Sayano-Shushenskogo vodokhranilishch [Assessment of pre-spring snow
reserves in the basins of Krasnoyarsk and Sayano-Shushensk reservoirs]. Geography and
natural resources. 2013. no. 1. P. 72–78. (In Russian).

Vinokurov Yu.I., Galakhov V.P., Samoilova S.Yu. and et al. Opy't ispol'zovaniya lednikov
dlya ocenki sovremennogo uvlazhneniya (Chujskaya kotlovina, Yugo-Vostochny'j Altaj)
[Experience in using glaciers to assess modern moistening (Chuyskaya hollow, South-Eastern
Altai)] // Problems of regional ecology. 2008. no. 6. P. 58–62. (In Russian).

Georgiyevsky, Yu.M., Shanochkin, S.V. Prognozy stoka gornyx rek [Flow forecasts of
mountain rivers]. Leningrad: LPI, 1987. 55 p. (In Russian).

Gusev E.M., Nasonova O.N., Shurkhno E.A. et al. Physically Based Modeling of the Long-
Term Dynamics of Water Balance and Snow Water Storage Components in the Ob–Irtys River
Basin // Water Resources. 2019. no. 4(46). P. 493–503. doi: 10.1134/S0097807819040109

Zinoviev A.T., Kudishin A.V., Kolomeizev A.A., Lovtskaya O.V., Filimonov V.Y. Model' formirovaniya talogo stoka na maly`x vodosborax na primere reki Losixa (Altajskij kraj) [Model of snowmelt runoff formation in small catchments (Losikha river as a case study, Altai Region)] // *Izvestiya AO RGO [Bulletin AB RGS]*. 2017. no. 3 (46). P. 74–79. (In Russian).

Komlev A.M., Titova Yu.V. Formirovanie stoka v bassejne r. Katuni [Formation of runoff in the basin of the Katun river]. Novosibirsk: Nauka, 1966, 155 p. (In Russian).

Kudishin A.V. Model' formirovaniya dozhdevogo stoka na primere reki Majma (Altajskij kraj) [Model of forming rainfall runoff on the example of the Mayma river] // *Izvestiya AO RGO [Bulletin AB RGS]*. 2019. no. 4(55). P. 77–81. doi: 10.24411/2410-1192-2019-15508 (In Russian).

Mirovaya referativnaya baza pochvenny`x resursov 2014 [World Reference Base of Soil Resources 2014]. Corrected and supplemented. FAO and Moscow State University, 2017. 203 p. (In Russian).

Motovilov Yu.G., Gelfan A.N. Modeli formirovaniya stoka v zadachax gidrologii rechny`x bassejnov [Models of Runoff Formation in Hydrology of River Basins]. M.: Ed. Russian Academy of Sciences, 2018. 300 p. (In Russian). doi: 10.31857/S9785907036222000001

Pyankov S.V., Shikhov A.N. Geoinformacionnoe obespechenie modelirovaniya gidrologicheskikh processov i yavlenij [Geoinformation support for modeling hydrological processes and phenomena]. Perm': PGNIU Publ., 2017. 148 p. (In Russian).

Resursy poverkhnostnykh vod raionov osvoeniya tselinnykh i zaleznykh zemel'. Vypusk VI. Ravninnye raiony Altaiskogo kraja i yuzhnaya chast' Novosibirskoi oblasti. [Surface water resources in the areas of virgin and fallow lands development. Issue VI. Plain regions of Altai Krai and the southern part of Novosibirsk oblast]. / Ed. V.A. Uryvayev. Moscow: Gidrometeoizdat, 1962. 977 p. (In Russian).

Snezhno-vodno-lednikovye resursy bassejna Verkhney Obi i prognozy stoka vesennego polovodya [Snow-water-glacial resources of the Upper Ob basin and forecasts of spring flood runoff]. / Ed. D.A. Burakov. Tomsk: TSU Publ. House, 1986. 254 p. (In Russian).

Filimonov V.Yu., Lovtskaya O.V., Golubeva A.B. Komp'yuternoe modelirovanie dozhdevogo stoka v bassejne reki Chary`sh s ispol`zovaniem programmnoy kompleksa HEC-HMS [HEC-HMS based simulation of runoff in Charysh river basin] // *Izvestiya AO RGO [Bulletin AB RGS]*. 2021. no. 1(60). P. 45–57. (In Russian). doi: 10.24412/2410-1192-2021-16004

Harmonized World Soil Database (version 1.2). FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria. 2012. URL: <https://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML>. (accessed: 22.07.2022).

HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension User's Manual Version 10.1 Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA. U.S. ArmyCorpsOfEngineers. 2013. URL: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/documentation/HEC-GeoHMS_Users_Manual_10.1.pdf. (accessed: 22.07.2022).

Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) User Guide: Version 4.2. Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA. U.S. Army Corps of Engineers. 2016. URL: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Users_Manual_4.2.pdf. (accessed: 22.07.2022).

Motovilov Yu.G., Gottschalk L., Engeland K., Belokurov A. ECOMAG a regional model of the hydrological cycle. Application to the NOPEX area. Institute Report Series no. 105. Department of Geophysics, University of Oslo, 1999. 88 p.

Nguyen P., Shearer E., Tran H., Ombadi M., Hayatbini N., Palacios T., Huynh P., Braithwaite D., Updegraff G., Hsu K., Kuligowski B., Logan W., Sorooshian S. The CHRS Data Portal, an easily accessible public repository for PERSIANN global satellite precipitation data. Sci Data. 2019. Jan. 8. 6:180296. doi: 10.1038/sdata.2018.296

MODEL OF RUNOFF FORMATION ON THE CHARYSH RIVER (ALTAI KRAI)

A.V. Kudishin, O.V. Lovtskaya, S.Yu. Samoilova, A.B. Golubeva

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul

E-mail: kudishin@iwep.ru, lov@iwep.ru, bastet@iwep.ru, pticagolub@mail.ru

The paper presents a computer model of runoff formation in the Charysh catchment, which is a part of the Upper Ob basin. The model takes account of spatial heterogeneity of runoff formation processes and offers the detailed vertical description of runoff transformation (surface, subsurface and ground runoff). To estimate precipitation amount in the watershed, we employ two data sources, i.e., the data from weather stations and the Persiann-CDR dataset. The models of spatial distribution of precipitation used in runoff calculations are analyzed. It appears that the Ust-Kan weather station provides greatly underestimated data on precipitation depth for the winter of 2009, which are insufficient for the formation of the observed melt

runoff. The model of runoff formation in the Charysh basin was verified for 2009 conditions based on the use of two precipitation models.

Keywords: hydrology; runoff formation models; Charysh river basin; distribution of precipitation; Persiann-CDR.

Received November 1, 2022

Сведения об авторах

Кудышин Алексей Васильевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. ORCID 0000-0002-5613-5778. E-mail: kudishin@iwep.ru.

Ловцкая Ольга Вольфовна – старший научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. ORCID 0000-0002-3942-1350. E-mail: lov@iwep.ru.

Самойлова Светлана Юрьевна – кандидат географических наук, научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. ORCID 0000-0002-3365-0048. E-mail: bastet@iwep.ru.

Голубева Анастасия Борисовна – младший научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. E-mail: pticagolub@mail.ru.

Information about the authors

Kudishin Aleksey Vasil'evich – PhD in Physics and Mathematics, Senior researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID 0000-0002-5613-5778. E-mail: kudishin@iwep.ru

Lovtskaya Olga Vol'fovna – Senior researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID 0000-0002-3942-1350. E-mail: lov@iwep.ru

Samoilova Svetlana Yurievna – PhD in Geography, Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID 0000-0002-3365-0048. E-mail: bastet@iwep.ru.

Golubeva Anastasia Borisovna – Junior researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: pticagolub@mail.ru.