

УДК 630\*2+556.5(571.51)

## ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК ЮГА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Т. А. Буренина<sup>1</sup>, Д. А. Прысов<sup>2</sup>, Е. В. Федотова<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН 660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева 660014, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31

<sup>3</sup> Сибирский федеральный университет 660041, Красноярск, просп. Свободный, 79

E-mail: burenina@ksc.krasn.ru, prisov.krasn@gmail.com, elfed@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 26.05.2017 г.

В настоящее время направление гидрологических исследований, освещающих те или иные аспекты влияния климатических факторов на сток рек, меняется в связи с увеличением антропогенного пресса на речные системы. В данной статье проанализирована в пространственном и временном аспектах динамика стока основных рек Саянской горной области, выполнен анализ трендов стока на фоне климатических изменений и лесохозяйственной деятельности на водосборах для выявления региональных и локальных особенностей гидрологического режима. Исследования показали, что тренды годового стока исследуемых рек различаются как по знаку, так и по величине. Гидрологический режим водотоков с отрицательным трендом годового стока определяется общим характером увлажнения территории, которое перекрывает влияние всех других факторов. Положительный тренд годового стока при общей тенденции снижения осадков обусловлен уменьшением испарения на водосборе, которое зависит как от температурного режима района исследований, так и от антропогенной трансформации лесной растительности под влиянием рубок. Несмотря на значительную вариабельность стока по годам, тренды стока исследуемых рек изменяются незначительно, что указывает на относительную стабильность водности рек. Это связано с кумулятивным эффектом антропогенной трансформации лесной растительности на водосборах, т. е. с новыми вырубками, зарастанием старых и созданием лесных культур. Полученные результаты свидетельствуют о том, что на региональном уровне в условиях антропогенного пресса на леса водосборных бассейнов средних и малых водотоков влияние изменения климата в формировании стока рек менее выражено, чем рубок главного пользования.

**Ключевые слова:** гидрологический режим, годовой сток, осадки, вырубки, Саянская горная область.

DOI: 10.15372/SJFS20180205

### ВВЕДЕНИЕ

Выдвигая тезис «реки – продукт климата», А. И. Воейков (1884) подразумевал, что средний многолетний речной сток является функцией средних многолетних величин осадков и испарения, т. е. гидрометеорологических компонентов географического ландшафта, отражающих то соотношение тепла и влаги, которое свойственно данной географической зоне, поэтому изменение климата должно отразиться на динамике гидрологического режима речных систем.

Прогноз влияния климатических изменений на водность рек весьма сложен, можно лишь в общих чертах судить о том, как водные системы могут реагировать на тот или иной сценарий потепления климата. Связано это с тем, что воздействие на водные ресурсы определяется многими разнонаправленными процессами, а их комплексное влияние сложно прогнозировать. Во многих странах выполнялась оценка влияния глобальных изменений климата на гидрологические ситуации, но полученные выводы очень противоречивы из-за различий применявшихся

методик прогноза, разных сценариев климатических изменений, разнонаправленности влияющих на водные ресурсы процессов, различной их изученности и т. д. (Динамика климата, 1988; Arnell, 1999; Шикломанов, Георгиевский, 2008, 2009; Георгиевский, Шалыгин, 2012 и др.).

Для решения проблем устойчивого управления водными ресурсами на региональном уровне востребованным становится изучение динамики речного стока под влиянием рубок главного пользования с учетом погодно-климатических условий. Интегральным показателем природных условий на водосборе является речной сток. Важность этого параметра заключается в том, что сток можно рассматривать как функцию отклика на любые изменения на водосборе. Это касается изменений как климатических, так и связанных с состоянием растительности и почвенного покрова. Цель работы – сравнить роль климатических и антропогенных факторов в формировании стока средних и малых рек в условиях меняющегося климата.

Гидрологический режим средних и особенно малых рек не идентичен таковому крупных рек, так как ландшафтная структура водосборных бассейнов в некоторых случаях играет более важную роль, чем климатические факторы. В связи с этим анализ гидрологического режима изучаемых рек проводился дифференцированно для крупных орографических единиц Саянской горной области – Минусинской котловины, Западного и Восточного Саянов, различающихся по термическому режиму и характеру увлажнения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для выявления региональных и локальных особенностей гидрологического режима территории проанализирована в пространственном и временном аспектах динамика стока на 21 гидрологическом посту на реках, формирующих свой сток в горах Западного и Восточного Саянов и в Минусинской котловине (рис. 1).

В работе использованы материалы из гидрологических ежегодников (Ресурсы..., 1973) и фондовые материалы Росгидромета (Справочники..., 2017). Основным критерием при выборе рек была длительность рядов наблюдений за стоком, которая составляет от 20 до 60 лет и включает годы с различной гидроклиматической обстановкой. Для выявления связи динамики стока рек с климатическими трендами привлекли данные по осадкам и температуре воздуха метеостанций, расположенных в районе ис-

следований (Специализированные массивы..., 2016; Источники..., 2017; Погода России, 2017).

При формировании базы данных по гидрологическому режиму рек исследуемого региона восстановили пропуски наблюдений за стоком. По восстановленным рядам рассчитаны следующие параметры: среднее многолетнее значение стока для каждого исследуемого водотока, коэффициенты вариации стока по годам для каждой отдельно взятой реки, парные коэффициенты корреляции стока для рек, расположенных в одинаковых физико-географических условиях (Пособие..., 1984; Владимиров, 1990).

В исследовании зависимости годового стока рек от климатических факторов использован метод множественного регрессионного анализа (Львовский, 1988). Для оценки пространственных закономерностей направленности и интенсивности изменений гидроклиматических параметров использованы результаты расчетов за период наблюдений по методике В. А. Шелутко (1991). Необходимые для анализа статистические параметры получены после предварительного сглаживания временных рядов методом скользящей средней. Построение трендов годового стока рек и осадков и коэффициентов линейных трендов осуществлено при обработке временных рядов этих величин в программе Microsoft Excel.

Анализ динамики лесистости выполнен на основе лесоустроительных материалов (Таксационные описания..., 2001). Для каждого пятилетнего периода определена среднегодовая площадь, пройденная рубками и пожарами.

В табл. 1 приведен список рек, для которых проведен анализ динамики стока. Морфометрические характеристики бассейнов приведены по данным Государственного водного реестра (2017). Условно реки можно отнести к следующим категориям:

- типичные горные, берущие начало в высокогорье Западного и Восточного Саянов, с площадями водосборов от 100 до 2000 км<sup>2</sup> (в табл. 1 под номерами 3, 7, 8, 9, 11);

- формирующие сток в среднегорье, но в различных условиях увлажнения, с площадями водосборов от 200 до 3000 км<sup>2</sup> (под номерами 1, 2, 10, 12);

- крупные водотоки с площадями водосборов более 3000 км<sup>2</sup>, сток которых формируется как в высокогорье, так и на равнинах (под номерами 4, 5, 6, 13–17);

- небольшие, с площадью водосбора не более 700 км<sup>2</sup>, бассейны которых полностью нахо-

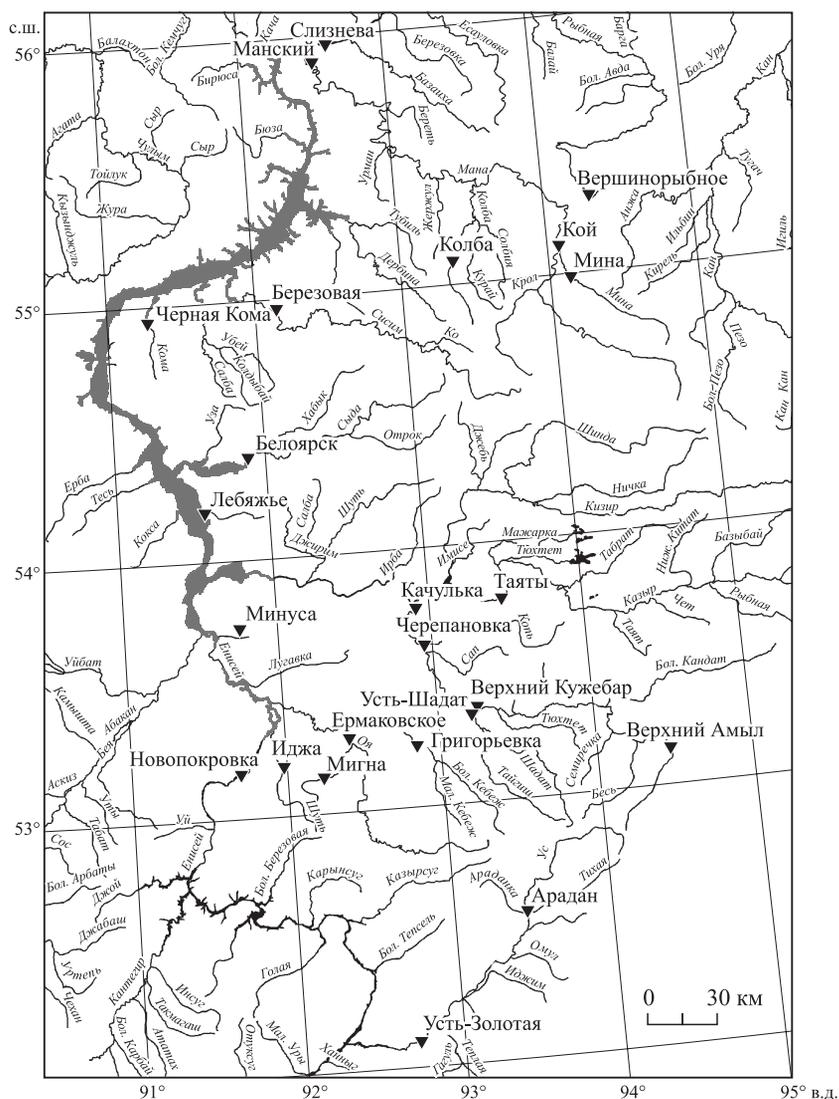


Рис. 1. Карта-схема расположения гидрологических постов (отмечены значками).

дятся в пределах беслесных ландшафтов Минусинской котловины (под номерами 18–21).

Согласно лесорастительному районированию В. Н. Смагина и др. (1980), бассейны рек северного макросклона Западного Саяна Амыл, Кебеж, Шадат, Оя, Мигна и Копь относятся к Северной Алтае-Саянской лесорастительной провинции темнохвойных лесов. На севере провинция окаймлена полосой ландшафтов сосново-березовой лесостепи Минусинской котловины, сменяющихся в предгорьях поясом светлохвойных и смешанных сосново-лиственных подтаежных лесов. С абсолютной высоты 300–400 м начинается темнохвойный пояс. На дерново-подзолистых глубокоглееватых дерново-палево-подзолистых почвах расположены черневые кедровники с пихтой крупнотравно-папоротниковые I–II классов бонитета.

Насаждения отличаются разреженностью, разновозрастностью, неудовлетворительным возобновлением кедра – основной лесобразующей породы в этом поясе. Нарушенные рубкой участки леса восстанавливаются через смену пород.

На горно-таежных бурых почвах формируются кедровники с пихтой и пихтарники травяно-зеленомошные III класса бонитета, отличающиеся высокой сомкнутостью и густотой древостоев. Высокогорные темнохвойные леса представлены субальпийскими пихтово-кедровыми редколесьями крупнотравной и зеленомошно-крупнотравной группы типов леса IV–V классов бонитета. Массивы пихтовых, пихтово-кедровых лесов чередуются с альпийскими лугами.

Бассейны рек Араданка, Золотая и Ус расположены к югу от осевого Саянского хребта и

**Таблица 1.** Характеристики водосборов исследуемых рек

№ п/п	Река	Длина реки, км	Общая площадь бассейна, км <sup>2</sup>	Средняя высота водосбора, м над ур. м.	Высотные пояса
<i>Северная Алтае-Саянская лесорастительная провинция</i>					
1	Мигна	58	490	360	Горная тайга
2	Копь	116	990	488	
3	Шадат	99	1680	669	Высокогорная тундра; горная тайга Весь спектр высотных поясов от подтаежных лесов до высокогорной тундры
4	Кебеж	131	2110	742	
5	Оя	254	5300	669	
6	Амыл	257	9500	959	
<i>Южная Алтае-Саянская лесорастительная провинция</i>					
7	Араданка	23	217	863	Высокогорная тундра; горная тайга
8	Золотая	39	382	1679	
9	Ус	236	6680	930	
<i>Сисимо-Казырская лесорастительная провинция</i>					
10	Б. Слизнева	27	110	516	Горная тайга
11	Мимия (Мина)	86	920	755	
12	Рыбная	288	4800	422	Весь спектр высотных поясов от лесостепи до горной тайги
13	Сисим	270	3260	632	
14	Сыда	207	4450	584	
15	Шушь	127	2180	612	
16	Мана	475	9320	890	Высокогорная тундра; горная тайга
17	Казыр	388	20 900	965	
18	Биря	42	300	297	Лесостепь; сухие степи
19	Кома	85	670	341	
20	Минуса	21	261	304	
21	Орловка	21	177	287	

относятся к Южной Алтае-Саянской провинции лиственничных лесов. По климатическим условиям данная провинция резко отличается от северной большей континентальностью, меньшей увлажненностью и, следовательно, спектром высотных поясов. Лесостепной пояс (абс. высоты 300–700 м) представлен лиственничниками разнотравными с примесью березы; светлохвойный (лиственнично-таежный, абс. высоты 700–1200 м) – лиственничниками зеленомошными с примесью березы и ели II–IV классов бонитета. В темнохвойном поясе произрастают кедровники зеленомошные и разнотравные с примесью лиственницы и ели III–IV классов бонитета. В подгольцовом поясе (абс. высоты 1600–1800 м) их сменяют высокогорные кедровники лишайниковые и багульниково-моховые IV–V классов бонитета (Поликарпов, 1970).

Реки Восточного Саяна Мана, Казыр, Мимия, Шушь, Сыда, Сисим, Рыбная и Слизнева берут начало и формируют свой сток на западном склоне Восточно-Саянской горной системы. Бассейны некоторых рек (11, 12, 16, 17) полностью

находятся в пределах Сисимо-Казырской лесорастительной провинции (Смагин и др., 1980), тогда как значительные площади бассейнов рек Шушь, Сыда и Сисим приурочены к Минусинской котловине. Для Сисимо-Казырской лесорастительной провинции характерно господство пихтовых лесов. На высотах 350–800 м над ур. м. преобладают черневые крупнотравные и папоротниковые пихтарники II–III классов бонитета с примесью осины. В центральной части провинции (левобережье Маны, верховья Сыды и Сисима) распространены кедровые леса зеленомошной группы типов леса III–IV классов бонитета. Верхний горно-таежный пояс (абс. высоты 800–1300 м над ур. м.) образован чистыми пихтовыми лесами зеленомошной группы типов леса IV–V классов бонитета. В субальпийском поясе пихтарники представлены спорадически – по ложбинам и руслам временных водотоков.

Бассейны рек Биря, Кома, Минуса и Орловка полностью находятся в пределах Минусинской котловины. Для бассейнов этих рек и котловинной части бассейнов рек Шушь, Сыда и Си-

сим характерно сочетание безлесных степных ландшафтов с лесостепью. В предгорной части котловины представлен пояс сосново-лиственничной лесостепи. На северных склонах произрастают лиственничники брусничные и осочково-зеленомошные I–III классов бонитета и сосняки II–III классов бонитета зеленомошной и разнотравной групп типов леса. Южные склоны заняты лиственничниками кустарниково-разнотравными III–IV классов бонитета. В центральной части котловины лесная растительность представлена ленточными борами – сосняками мертвопокровными IV–V классов бонитета.

Существенная нарушенность лесного покрова связана с промышленным освоением лесов с середины 50-х гг. XX в. Вырубались наиболее доступные массивы на северном макросклоне Западного Саяна, в бассейне р. Мана, в ее среднем и нижнем течении. Как показали наши исследования (Буренина и др., 2012), более 40 % от общей площади бассейна р. Кебеж и около 35 % от общей площади бассейна р. Тайгиш (приток Шадата) составляют производные леса, что отражает степень нарушенности коренных лесов в этих бассейнах. Наибольшей нарушенностью характеризуются леса черневого пояса, где более 65 % площади занимают леса послерубочного происхождения. В горно-таежном поясе на долю производных лесов приходится 15–17 %. Согласно литературным источникам (Поликарпов, 1970; Ермоленко, 1981), к концу 60-х гг. XX в. наиболее доступные кедровые леса в черневом поясе Западного Саяна были почти полностью вырублены.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ динамики годового стока рек показал, что, несмотря на значительную вариабельность по годам, для всех рек изучаемого региона характерны общие закономерности изменения гидрологического режима по сезонам: ярко выраженная зимняя межень, высокое и растянутое во времени весеннее половодье, которое иногда смыкается с летне-осенними паводками. На реках, имеющих небольшие площади водосборов, за месяц, на который приходится пик половодья, проходит до 50 % от объема годового стока. Для рек с площадью водосбора более 1000 км<sup>2</sup> на пик половодья приходится 20–30 % объема годового стока.

Продолжительность весеннего половодья составляет около 3 мес. (апрель–июнь). При анализе графиков ежедневных расходов воды

отмечено несколько пиков весеннего половодья. Это обусловлено как возвратом холодов, так и осадками в период половодья. Волны дождевых паводков, сформированных на фоне спада весеннего стока, растягивают весеннее половодье на реках иногда до середины июля, создавая постепенный переход к летней межени. В отдельные годы весеннее половодье смыкается с летне-осенними дождевыми паводками.

Для того чтобы сопоставить синхронность колебаний годовых стоков рек, выполнено ранжирование бассейнов рек по площади и для каждой пары водотоков, имеющих близкие значения площадей водосборных бассейнов, рассчитан коэффициент корреляции.

Высокие значения коэффициентов парной корреляции стоков (0.75–0.89) отмечены для горных рек Западного Саяна. Меньшими значениями корреляции характеризуются реки, формирующие стоки в горах Восточного Саяна (0.50–0.66). Для более крупных речных бассейнов коэффициенты парной корреляции речного стока составляют 0.79–0.89, тогда как на малых реках, имеющих длину не более 49 км (Б. Слизнева, Араданка, Золотая), значения коэффициентов минимальны (0.35–0.42). Таким образом, на больших водосборных бассейнах гидрологический режим водотоков определяется общим характером увлажнения территории, который перекрывает влияние всех других факторов. Отсутствие синхронности колебаний стоков по годам для рек Минусинской котловины может быть связано как с локальным характером распределения осадков вследствие особенностей орографии, так и с перераспределением поступающей влаги между испарением на водосборе и речным стоком.

Для выявления связи стока с климатическими характеристиками исследуемого региона методом множественного регрессионного анализа обрабатывали данные по стоку 21 реки и метеоданные по шести метеостанциям (Красноярск, Солянка, Минусинск, Ермаковское, Григорьевка, Оленья Речка). Только для семи рек получены гидрологические модели, в которых годовой сток рек достоверно связан с комплексом гидроклиматических параметров четырех метеостанций (табл. 2).

Исследования, проведенные в северных районах Сибири и восточных Прииссыккуля, показали, что динамика речного стока в наибольшей степени зависит от стока предыдущего года и осадков (Онучин и др., 2014). При этом роль осадков дифференцирована по месяцам в зависимости от географического положения речных

**Таблица 2.** Регрессионные гидрологические модели годового стока

№ п/п	Река	Реперная метеостанция	Уравнение	$R^2$	$G$	$F$
<i>Западный Саян</i>						
1	Мигна	Григорьевка	$Y = -36.85 + 0.51 X_i + 0.64 X_7 + 0.21 Y_p$	0.68	33.5	16.1
2	Оя	Ермаковское	$Y = 157.07 + 0.55 X_j + 0.98 X_i + 1.04 X_4 + 0.57 X_5 + 0.25 Y_p$	0.72	50.0	24.3
<i>Восточный Саян</i>						
3	Б. Слизнева	Красноярск	$Y = -22.57 + 0.88 X_i + 1.07 X_7$	0.64	39.9	21.3
4	Рыбная	Солянка	$Y = -106.92 + 0.78 X_i + 1.09 X_5 + 0.63 X_8 + 0.42 Y_p$	0.50	47.8	5.2
5	Мана	Красноярск	$Y = 21.08 + 0.76 X_i + 0.89 X_7 + 0.36 Y_p$	0.50	46.8	8.1
<i>Минусинская котловина</i>						
6	Шушь	Ермаковское	$Y = -137.23 + 0.23 X_j + 0.78 X_i + 0.83 X_5 + 0.32 Y_p$	0.58	44.2	16.3
7	Кома	»	$Y = 9.26 + 0.15 X_i + 0.62 X_4 + 0.16 X_7 + 0.25 X_5$	0.43	24.3	6.1

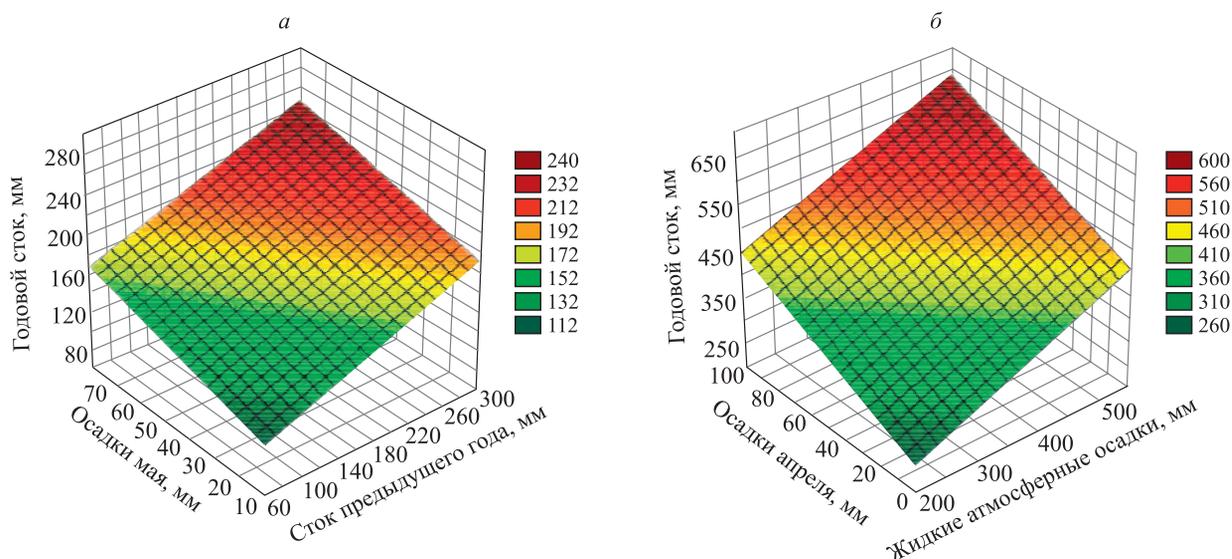
*Примечание.*  $Y$  – годовой сток, мм;  $X_j$  – сумма жидких атмосферных осадков, мм;  $X_i$  – сумма твердых атмосферных осадков, мм;  $X_4, X_5, X_7, X_8$  – среднемесячные значения осадков в апреле, мае, июле и августе соответственно, мм;  $Y_p$  – годовой сток предыдущего года, мм;  $R^2$  – индекс детерминации;  $G$  – стандартная ошибка уравнения;  $F$  – критерий Фишера.

бассейнов. В настоящей работе в качестве предикторов в полученных уравнениях использованы значения стока предыдущего года и месячные суммы осадков по четырем метеостанциям, на которых годовая сумма осадков коррелирует с годовым стоком рек.

Анализ гидрологических моделей свидетельствует о том, что годовой сток исследуемых рек достоверно связан с величиной осадков и стоком предыдущего года. Все уравнения различаются между собой по набору переменных. Наиболее значимым показателем во всех уравнениях является сумма твердых осадков. Значения Т-критерия этого показателя для всех рек, за исключением р. Комы, от 3.1 до 6.6 (при достоверности 95 %), т. е. для большинства рек

рассматриваемой территории основным источником формирования стока является накапливаемый за зиму снежный покров.

Что касается роли жидких осадков, наибольшее значение в формировании речного стока имеют осадки либо апреля–мая, либо июля. Для некоторых рек, таких как Рыбная и Кома, значимыми предикторами являются и весенние, и летние осадки. Для пяти рек – Мигна, Оя, Рыбная, Мана и Шушь – годовой сток нелинейно возрастает с ростом стока предыдущего года, тогда как для стока Комы и Большой Слизневы данная зависимость отсутствует. На рис. 2 показаны графики зависимости стока рек Рыбная и Оя от наиболее значимых гидроклиматических параметров.



**Рис. 2.** Графики зависимости годового стока рек Рыбная (а) и Оя (б) от гидроклиматических параметров.

Отсутствие связи между стоками текущего и предыдущего годов для рек Кома и Большая Слизнева указывает на различия гидрогеологических условий на исследуемых водосборах. Расчленение гидрографа р. Б. Слизнева по типам питания показало, что основной ее тип поверхностный, что связано с незначительной глубиной вреза ее русла. Это значит, что в формировании стока грунтовые воды не участвуют и сток предыдущего года не оказывает влияния на сток текущего. Бассейн р. Кома находится в пределах Минусинской котловины, в районах распространения песчаных почв. При хорошей водопроницаемости этих почв на данном водосборе не происходит консервации влаги, поступившей в предшествующем году, в отличие от бассейнов горных рек, где коренные горные породы способствуют аккумуляции влаги в верхних горизонтах почвогрунтов. Способность аккумуляции влаги в верхних горизонтах почвогрунтов в бассейнах горных рек подтверждают данные А. В. Лебедева (1982), а также исследования М. П. Смирнова (1970). Почвы горных склонов Западного и Восточного Саянов отличаются высокой влагоемкостью, что способствует консервации влаги, поступившей на водосбор в предшествующем году, и обеспечивает ее участие в формировании стока последующего года.

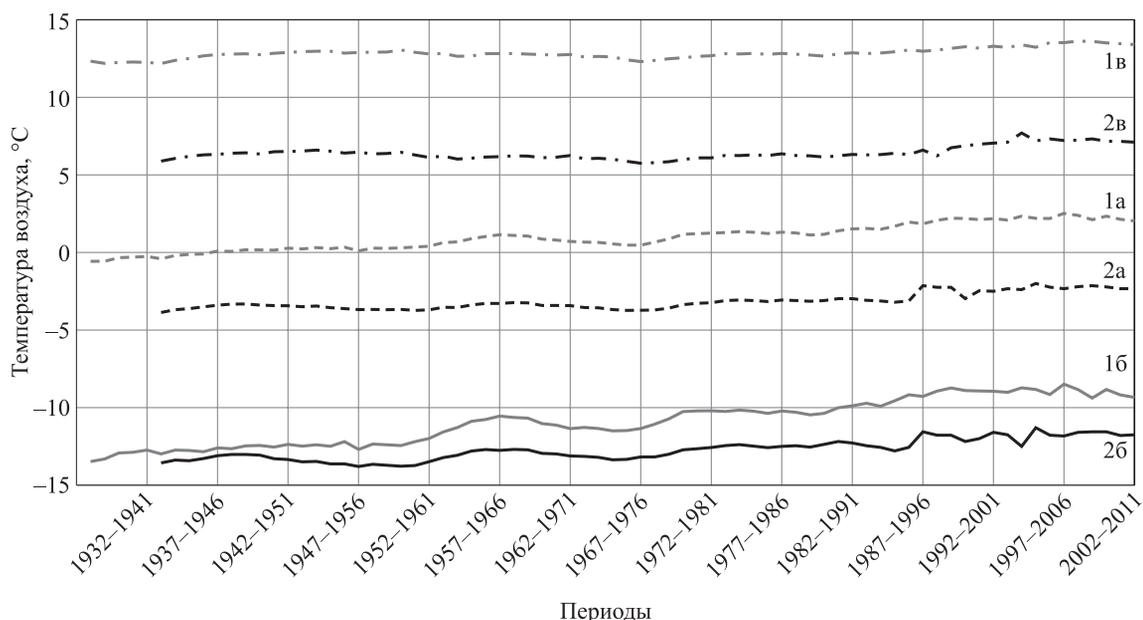
В научной литературе отмечено, что для Алтае-Саянской горной страны в целом характерны глобальные тенденции потепления кли-

мата (Севастьянов, 1998; Изменение климата..., 2011). Для горных регионов юга Красноярского края публикаций по изучению динамики современного климата существует немного. Согласно исследованиям динамики климатических параметров за период 1950–2000 гг., в Западном Саяне отмечается положительный тренд температур воздуха во все сезоны, но наиболее интенсивный – зимой и в переходные периоды (Им и др., 2007). Сравнительный анализ трендов радиационной температуры горной тайги юга Красноярского края и динамики среднемесячных температур метеостанции Ермаковское за период 1999–2010 гг. показал, что этот период характеризовался снижением среднегодовой температуры воздуха (Шевырнов и др., 2012).

Некоторые исследователи на фоне общих тенденций потепления климата выделяют районы заметных отрицательных трендов температуры воздуха (Шерстюков, 2008, 2012). Вследствие неоднозначной оценки направленности климатических изменений с конца 90-х гг. XX в. мы посчитали целесообразным проанализировать данные по температурному режиму и осадкам отдельно для двух периодов: 1940–2000 и 2001–2012 гг. (табл. 3). При этом мы согласны с выводами Г. С. Высоцкой с соавт. (2002), что средние показатели температуры воздуха и осадков по различным периодам осреднения значительно различаются в зависимости от выбора длины временного интервала и его начала.

**Таблица 3.** Коэффициенты линейных трендов температуры воздуха и осадков по данным реперных метеостанций

Метеостанция	Коэффициент линейного тренда					
	1940–2000 гг.			2001–2012 гг.		
	годовой	XI–IV	V–X	годовой	XI–IV	V–X
<i>Температура воздуха, °C</i>						
Красноярск	0.039	0.058	0.020	–0.007	0.042	–0.055
Солянка	0.023	0.046	0.001	–0.142	–0.198	–0.085
Минусинск	0.036	0.069	0.005	–0.152	–0.243	–0.062
Оленья речка	0.026	0.049	0.005	–0.085	–0.106	–0.064
<i>Сумма осадков, мм</i>						
	1966–2000 гг.			2001–2012 гг.		
Красноярск	–0.801	0.083	–0.884	–0.395	2.738	–3.133
Солянка	1.624	0.699	0.925	1.449	0.746	0.703
Минусинск	0.185	0.263	–0.077	–11.906	–3.122	–8.784
Ермаковское	–1.721	–0.837	–1.089	–	–	–
Григорьевка	–0.913	0.430	–1.343	–	–	–
	1947–2000 гг.			2001–2012 гг.		
Ермаковское	–0.760	–0.482	–0.276	–	–	–
Григорьевка	–1.728	–0.744	–0.984	–	–	–
Оленья речка	–3.644	–1.900	–1.744	0.398	–1.880	2.278



**Рис. 3.** Тренды температуры воздуха по скользящим 10-летним средним значениям для метеостанций Минусинск (1) и Оленья речка (2): а – годовой; б – для холодного и в – для теплого периода года.

Тем не менее временной ряд за 10–12 лет отражает тенденции климатических изменений.

Анализ динамики температуры воздуха на реперных метеостанциях показал, что в районе исследований с 40-х гг. XX в. до 2000 г. наблюдалось ее повышение, причем максимальные значения коэффициентов линейных трендов характерны для холодного периода года (см. табл. 3). С 2001 г. для всех реперных метеостанций наблюдается понижение среднегодовой температуры воздуха и для холодного периода коэффициент тренда в 2–4 раза выше, чем для теплого. Эти тенденции к похолоданию климата согласуются с данными А. П. Шевырногова с соавт. (2012) для горной системы Западного Саяна.

В связи с тем, что значение коэффициента тренда климатических показателей зависит от выбора длины временного интервала и его начальных значений, мы проанализировали изменчивость температуры воздуха по метеостанциям Минусинск и Оленья речка по скользящим среднедекадным значениям (рис. 3).

Тренды температуры воздуха не равнозначны для Минусинской котловины и высокогорья Западного Саяна, причем повышение температуры более выражено в холодный период года. Из данных, отображенных на рис. 3, следует, что при общем тренде увеличения температуры воздуха периоды потепления чередовались с периодами похолодания.

Тренды осадков по данным метеостанций исследуемого района характеризуются разнона-

правленностью (см. табл. 3). Для Минусинска и Солянки характерен положительный тренд годовой суммы осадков, тогда как для метеостанций Ермаковское, Григорьевка и Оленья речка, являющихся репрезентативными для осевого хребта Западного Саяна и его предгорий, характерна тенденция снижения осадков. При этом показатели за 1966–2000 и 1947–2000 гг. различаются. Темпы уменьшения осадков за период 1966–2000 гг. в 2 раза выше, чем за 1947–2000 гг. С 2001 по 2012 г. отмечен небольшой рост осадков по метеостанциям Оленья речка и Солянка, но для Минусинской котловины характерно резкое снижение осадков, особенно в теплый период года.

Для того чтобы выявить, насколько тесной является связь климатических трендов с изменением речного стока на региональном уровне, мы проанализировали тенденции стока исследуемых рек за разные периоды наблюдений (табл. 4).

Несмотря на то что количественные показатели трендов стока в значительной степени определяются продолжительностью периода наблюдений, их направленность для большинства рек совпадает с трендом осадков (Onuchin et al., 2017). Для семи рек отмечен положительный тренд стока. Для р. Шушь коэффициент линейного тренда стока равен всего 0.09, что указывает в большей степени на стабильность стока, чем на его изменение во времени. Из семи рек с положительным трендом стока наиболее вы-

Таблица 4. Показатели трендов речного стока

Река – пункт наблюдений	Годы наблюдений	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>	Средний многолетний сток, мм	Коэффициент линейного тренда стока
<i>Западный Саян</i>				
Амыл – дер. В. Амыл	1958–2002	537	557.3	–1.56
Амыл – с. Верхний Кужебар	1965–2002	5270	792.7	–1.33
Амыл – пос. Качулька	1933–2002	9850	662.3	–1.31
Араданка – пос. Арадан	1965–2002	217	700.5	–3.55
Золотая – пос. Усть-Золотая	1968–1994	382	149.2	–0.12
Кебеж – дер. Григорьевка	1948–2002	1000	554.7	1.23
Копь – дер. Черепановка	1950–2002	959	501.0	–2.78
Мигна – с. Мигна	1965–1994	190	177.5	–1.35
Оя – с. Ермаковское	1946–2002	2540	414.4	–0.67
Ус – пос. Усть-Золотая	1951–2002	6110	333.9	–0.05
Ус – пос. Арадан	1968–2002	1260	780.5	–4.44
Шадат – пос. Усть-Шадат	1958–2002	1680	856.7	1.96
<i>Восточный Саян</i>				
Казыр – пос. Таяты	1963–1994	11900	794	–1.91
Мана – пос. Кой	1961–2002	3520	502.7	1.48
Мана – пос. Манский	1936–2002	9260	344.9	0.42
Мимия (Мина) – пос. Мина	1959–2002	841	436.8	2.81
Б. Шушь – с. Иджа	1946–2002	531	230.1	0.09
Сисим – пос. Березовая	1962–2002	2810	388.7	–2.09
Сыда – пос. Белоярск	1927–1986	3260	258.6	–1.48
Рыбная – с. Вершино-Рыбное	1945–1994	110	156.6	0.51
Слизнева – с. Слизнево	1975–2002	104	221.2	–1.24
<i>Минусинская котловина</i>				
Биря – с. Лебяжье	1956–1994	238	23.1	0.00
Кома – с. Черная Кома	1965–2002	504	92.2	–0.27
Минуса – г. Минусинск	1954–2002	221	35.8	–0.53
Орловка – дер. Новопокровка	1946–1994	107	62.4	0.43

сокие значения коэффициентов характерны для тех, в бассейнах которых в середине XX в. велись масштабные лесозаготовительные работы: Маны и ее притока – р. Мимия в Восточном Саяне, а также Кебеж и Шадат в Западном Саяне.

На р. Мана положительный тренд стока отмечен с середины 30-х гг. XX в. для всего периода наблюдений, но наиболее выраженный – с середины 60-х до начала 90-х гг. XX в. (рис. 4).

На основе анализа данных лесоустройства и космических снимков в среднем течении Маны на территории Маганского лесхоза к 1950 г. площадь вырубок определена приблизительно в 20 тыс. га, к 1977 г. она составляла 13 тыс. га, а 9 тыс. га занимали производные леса (Федотова, Стаброва, 2014).

К 1989 г. площадь вырубок заметно сократилась (до 5 тыс. га), но в сумме с производными лесами достигала 23 тыс. га. Из этого следует,

что на протяжении почти 40 лет формирование стока в этой части бассейна р. Мана было связано с рубками и последующим послерубочным лесовосстановлением. Средний декадный сток за 1986–1995 гг. увеличился на 40 мм по сравнению с таковым за 1967–1976 гг.

Аналогичные тенденции динамики стока проявляются на реках Кебеж и Шадат, но более значимое увеличение коэффициента линейного тренда стока происходит с 60-х до середины 90-х гг. XX в. За 30 лет сток на р. Кебеж увеличился на 49 мм, а на р. Шадат – почти на 100 мм.

Анализ лесоустроительных материалов Ермаковского лесхоза, в пределах которого находятся бассейны рек Кебеж, Шадат и значительная часть водосборного бассейна р. Оя, показал, что на северном макросклоне Западного Саяна в бассейнах рек Кебеж и Тайгиш (самого крупного притока р. Шадат) с середины 50-х до кон-

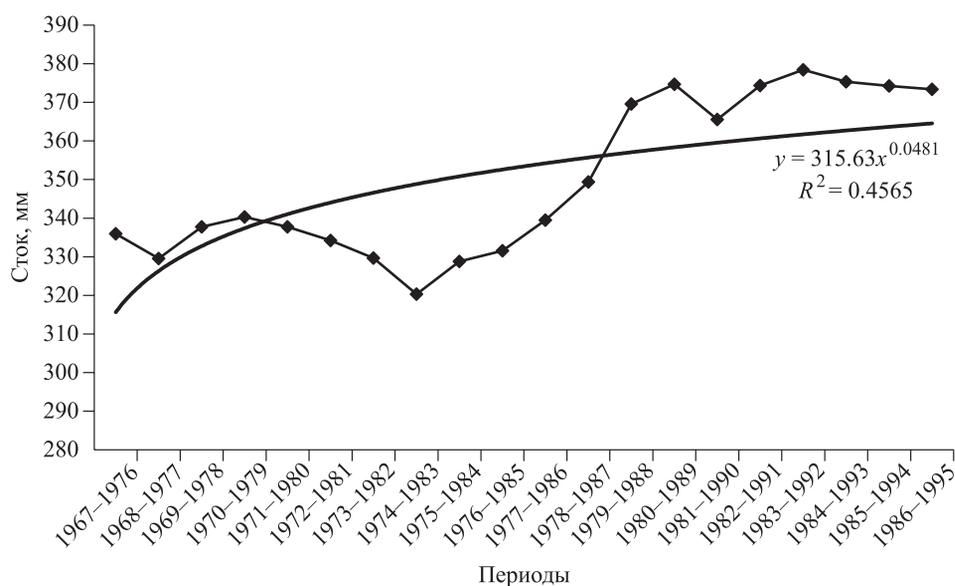


Рис. 4. Тренд стока р. Мана (гидрологический пост пос. Манский) по скользящим 10-летним средним значениям.

ца 60-х гг. XX в. велись интенсивные рубки. К 1975 г. основные массивы доступных лесов были пройдены рубками главного пользования. Согласно данным дистанционного зондирования, в бассейнах рек Кебеж и Тайгиш с 1989 по 1999 г. возрастает суммарная площадь вырубленных лесов за счет проведения рубок в горно-таежном поясе. Это также подтверждается результатами анализа возрастной структуры вторичных лесов. Наиболее молодые древостои характерны для горно-таежного пояса, в черневом поясе преобладают 40–50-летние насаждения (Буренина и др., 2012).

Чтобы проследить влияние свежих рубок на сток и исключить влияние осадков, мы провели сравнительный анализ динамики коэффициента стока (отношения стока к осадкам) с динамикой площадей свежих рубок по пятилетиям (суммировались площади рубок от 1 до 5 лет). Согласно данным, отображенным на рис. 5, максимальные значения коэффициента стока на р. Кебеж в периоды 1954–1958, 1969–1973 гг. и с 1984 по 1992 г. совпадают с увеличением вырубаемых площадей (Onuchin et al., 2017). В эти периоды ежегодно вырубалось до 3 % от водосборной площади горной части бассейна р. Кебеж.

Несмотря на некоторые общие тенденции линий коэффициента стока и суммарной площади рубок по пятилетиям, тесной корреляционной связи между этими двумя величинами не наблюдается. Согласно данным, отображенным на рис. 5, к 2002 г. площади рубок резко

сокращаются, коэффициент стока остается довольно высоким – 0.5. Это указывает на то, что на рубках предыдущих лет водорегулирующие функции восстановились не полностью.

Согласно данным А. Onuchin et al. (2017), сток в лиственных молодняках на 10–20 %, а в пихтовых молодняках и жердняках на 30–40 % выше, чем в не нарушенных рубками кедрово-пихтовых насаждениях. Полного восстановления структуры водного баланса на рубках в темновойных лесах Западного Саяна не происходит даже через 50–60 лет (Буренина и др., 2012), но в результате того, что леса в горно-таежном поясе вырубали не так интенсивно, сток р. Кебеж характеризуется относительной стабильностью. Рубки в бассейнах рек Кебеж и Шадат не вызвали значительных аномалий в увеличении годового стока этих водотоков. Локализация площадей рубок к черневому поясу

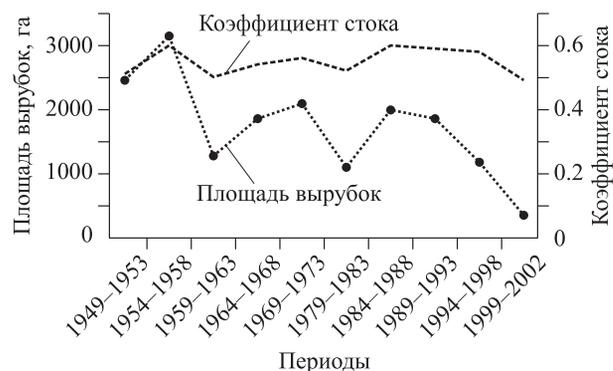


Рис. 5. Изменение коэффициента стока и площади рубок 1–5-летнего возраста в бассейне р. Кебеж.

горной тайги повлияла на сезонную динамику стока и развитие эрозии почв на вырубках (Лебедев, 1982).

По результатам проведенных исследований можно констатировать, что тенденции изменения гидрологического режима исследуемой территории зависят не только от климатических изменений, но и в значительной степени определяются лесохозяйственной деятельностью на речных водосборах. Рубки леса и характер последующих лесовосстановительных сукцессий в значительной степени влияют на изменение структуры водного баланса (Буренина и др., 2012). Сопоставление динамики площадей, нарушенных рубками коренных лесов, в бассейнах рек Мана, Кебеж и Шадат с трендами стока этих рек показывает, что антропогенная трансформация лесной растительности под влиянием рубок «работает» на снижение испарения на водосборе и увеличение стока. Несмотря на значительную вариабельность стока по годам, тренды коэффициента стока этих рек изменяются незначительно, что указывает на относительную стабильность водности рек. Это, на наш взгляд, связано с кумулятивным эффектом антропогенной трансформации лесной растительности на водосборах, т. е. новыми рубками, зарастанием старых и созданием лесных культур.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования показали, что выявленные тренды годового стока исследуемых рек различаются как по знаку, так и по величине. Гидрологический режим водотоков с отрицательным трендом годового стока определяется общим характером увлажнения территории, тогда как положительный тренд годового стока при общей тенденции снижения осадков обусловлен уменьшением испарения на водосборе, которое зависит от антропогенной трансформации лесной растительности под влиянием рубок. В условиях горной тайги Западного и Восточного Саянов сплошные рубки леса приводят к изменению водного баланса территорий с перераспределением его расходной части в сторону как уменьшения суммарного испарения, так и увеличения стока.

На региональном уровне в условиях антропогенного пресса на леса водосборных бассейнов средних и малых водотоков роль изменения климата в формировании стока рек менее выражена, а влияние рубок главного пользования и последующей лесовосстановительной дина-

мики более значимо. Поэтому при масштабных рубках главного пользования и крупных лесных пожарах нарушенность лесной растительности может стать основным фактором, определяющим условия формирования стока.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Буренина Т. А., Федотова Е. В., Овчинникова Н. Ф. Изменение структуры влагооборота в связи с возрастной и восстановительной динамикой лесных экосистем // Сиб. экол. журн. 2012. № 3. С. 435–445.
- Владимиров А. М. Гидрологические расчеты: учебн. для вузов по спец. «Гидрология суши». Л.: Гидрометеиздат, 1990. 364 с.
- Воейков А. Климаты земного шара, в особенности России. СПб.: Изд. картографического заведения А. Ильина, 1884. 640 с.
- Высоцкая Г. С., Дмитриев А. И., Ноженкова Л. Ф., Шишов В. В. Пространственное распределение трендов климатических параметров (XX век) // Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. Вып. 1. Новосибирск: Ин-т археологии и этнографии СО РАН, 2002. С. 83–86.
- Георгиевский В. Ю., Шалыгин А. Л. Гидрологический режим и водные ресурсы. Гл. 2 // Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. М.: Росгидромет, 2012. С. 53–86.
- Государственный водный реестр. М: Федеральное агентство водных ресурсов (Росводресурсы). Мин-во природ. рес. и экол. РФ, 2017.
- Динамика климата / Под ред. С. Манабе. Пер. с англ. В. В. Голосова, Д. В. Чаликова / Под ред. Д. В. Чаликова. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 575 с.
- Ермоленко П. М. Формирование состава хвойнолиственных молодняков на рубках кедровников в черном поясе Западного Саяна // Формирование и продуктивность древостоев. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981. С. 53–70.
- Изменение климата и его воздействие на экосистемы, население и хозяйство российской части Алтае-Саянского экорегиона: оценочный доклад / Под ред. А. О. Кокорина. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF России), 2011. 168 с.
- Им С. Т., Харук В. И., Двинская М. Л. Лесотундра в горах Западного Саяна и климатические тренды // ГЕО-Сибирь-2007. Т. 2. Экономическое развитие Сибири. Природопользование, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью. Ч. 2.: сб. мат-лов III Междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2007», 25–27 апр. 2007 г., Новосибирск. Новосибирск: СГГА, 2007. С. 211–215.
- Источники метеорологических данных на территорию РФ по станциям, 2017. [gis-lab.info/qa/meteo-station-sources.html](http://gis-lab.info/qa/meteo-station-sources.html)
- Лебедев А. В. Гидрологическая роль горных лесов Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1982. 182 с.

- Львовский Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул: учеб. пособ. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1988. 239 с.
- Онучин А. А., Гапаров К. К., Михеева Н. А. Влияние лесистости и климатических факторов на годовой сток рек Прииссыккуля // Лесоведение. 2008. № 6. С. 45–52.
- Онучин А. А., Буренина Т. А., Зирюкина Н. В., Фарбер С. К. Лесогидрологические последствия рубок в условиях Средней Сибири // Сиб. лесн. журн. 2014. № 1. С. 110–118.
- Погода России. М.: Ин-т косм. исслед. РАН, 2017.
- Поликарпов Н. П. Комплексные исследования в горных лесах Западного Саяна // Вопросы лесоведения. Т. 1. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1970. С. 26–79.
- Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик / А. В. Рождественский, А. Г. Лобанов (ред.). Л.: Гидрометеиздат, 1984. 447 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 16. Ангаро-Енисейский район. Вып. 1. Енисей / Под ред. А. П. Муранова. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 724 с.
- Севастьянов В. В. Климат высокогорных районов Алтая и Саян. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1998. 201 с.
- Смагин В. Н., Ильинская С. А., Назимова Д. И., Новосельцева И. Ф., Чередникова Ю. С. Типы лесов гор Южной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. 336 с.
- Смирнов М. П. Почвы Западного Саяна. М.: Наука, 1970. 233 с.
- Специализированные массивы для климатических исследований. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. ВНИИГМИ-МЦД, 2016. (<http://meteo.ru/it/178-aisori>).
- Справочники Государственного фонда данных о состоянии окружающей среды. Гидрология суши. Средне-сибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Красноярск, 2017.
- Таксационные описания. Ермаковский лесхоз, Каратузский лесхоз. Федеральное государственное унитарное предприятие «Восточно-Сибирское государственное лесохозяйственное предприятие». Красноярск, 2001.
- Федотова Е. В., Стаброва Е. А. Использование данных ДЗ в анализе динамики восстановления лесов в районе интенсивной заготовки древесины // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: мат-лы Междунар. науч. конф. / Науч. ред. Е. А. Ваганов. Красноярск: СФУ, 2014. С. 80–84.
- Шевырногов А. П., Чернецкий М. Ю., Высоцкая Г. С. Многолетние тренды NDVI и температуры на юге Красноярского края // Исслед. Земли из космоса. 2012. № 6. С. 77–87.
- Шелутко В. А. Численные методы в гидрологии: учебн. для вузов по спец. «Гидрология суши». Л.: Гидрометеиздат, 1991. 238 с.
- Шерстюков Б. Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. 246 с.
- Шерстюков Б. Г. Сезонные особенности изменений климата за 1976–2011 годы // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2012. Вып. 176. С. 3–12.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю. Изменение стока рек России при глобальном потеплении климата // Докл. VI Всерос. гидрол. съезда, 28 сент.–1 окт. 2004 г., Санкт-Петербург. Секция 3. Ч. II. М.: Метео-агентство Росгидромета, 2008. С. 159–163.
- Шикломанов И. А., Георгиевский В. Ю. Влияние изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек России // Гидрологические последствия изменений климата: тр. Британско-Российской конф., 13–15 июня 2007 г., Новосибирск. Барнаул: Изд-во «Пять плюс», 2009. С. 143–151.
- Arnell N. W. Climate change and global water resources // Glob. Environ. Change. 1999. V. 9. Suppl. 1. P. 31–49.
- Onuchin A., Burenina T., Pavlov I. Hydrological consequences of timber harvesting in landscape zones of Siberia // Environments. 2017. V. 4. Iss. 3. 51. 16 p.

## THE INFLUENCE OF CLIMATIC AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON HYDROLOGICAL REGIME OF RIVERS AT THE SOUTH OF KRASNOYARSK KRAI

T. A. Burenina<sup>1</sup>, D. A. Prysov<sup>2</sup>, E. V. Fedotova<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

<sup>2</sup> Academician M. F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology  
Prospect Krasnoyarskiy Rabochiy, 31, Krasnoyarsk, 660014 Russian Federation

<sup>3</sup> Siberian Federal University  
Prospekt Svobodny, 79, Krasnoyarsk, 660041 Russian Federation

---

E-mail: [burenina@ksc.krasn.ru](mailto:burenina@ksc.krasn.ru), [prisov.krasn@gmail.com](mailto:prisov.krasn@gmail.com), [elfed@ksc.krasn.ru](mailto:elfed@ksc.krasn.ru)

Despite a large number of publications covering various aspects of the influence of climatic factors on runoff, this direction in hydrological research acquires a new meaning in connection with the increase in anthropogenic pressure on river systems. In order to identify regional and local features of the hydrological regime of the rivers in Sayan mountain region, the spatial and temporal dynamics of runoff of the main rivers in the study area were analyzed; the analysis of river flow trends against the backdrop of climate change and forest management in the drain areas was performed. Studies have shown that the revealed trends in the annual runoff of the studied rivers differ in type and in magnitude. The hydrological regime of the rivers with the negative trend of annual runoff is determined by the general nature of the humidification of the territory, which overrides the influence of all other factors. Despite a general trend of decreasing precipitation, the positive trend of annual runoff is due to a decrease in evaporation in the drainage areas, which depends both on the temperature regime of the research area and on the anthropogenic transformation of forest vegetation under logging impact. In spite of the considerable variability of annual river flow, trends in runoff coefficients for study rivers vary slightly, indicating the relative stability in water availability. This is due to cumulative effect of anthropogenic transformation of forest vegetation in the drainage areas, i.e. new felling, regeneration on logging sites and creating forest crops. Obtained results show that at the regional level in conditions of anthropogenic pressure on the forests in the drainage areas of medium and small rivers, the trends of climatic parameters, in particular precipitation, are offset by the forest harvesting and subsequent reforestation dynamics at clear cuts.

**Keywords:** *hydrological regime, annual runoff, precipitation, deforestation, Sayan mountain region.*

**How to cite:** *Burenina T. A., Prysov D. A., Fedotova E. V. The influence of climatic and anthropogenic factors on hydrological regime of rivers at the south of Krasnoyarsk Krai // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2018. N. 2. P. 48–60 (in Russian with English abstract).*