

УДК 630\*556.51\*528

## ЛЕСОГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ РУБОК В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

© 2014 г. А. А. Онучин, Т. А. Буренина, Н. В. Зирюкина, С. К. Фарбер

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН*

*660036, Красноярск, Академгородок, 50/28*

E-mail: onuchin@ksc.krasn.ru, burenina@ksc.krasn.ru, natlily@mail.ru, sfarber@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 6.11.2013 г.

Дана оценка состояния ангарских лесов, анализируются особенности лесовозобновления в древостоях, нарушенных рубками и пожарами. На основе ландшафтной классификации исследуемого региона для Приангарья выделено три группы ландшафтов, различающихся по характеру лесовосстановительных сукцессий. Показано, что под влиянием сплошных рубок водоохранные и водорегулирующие функции приангарских лесов резко изменяются. Сравнительный анализ лесоустроительных материалов и гидрометеорологических данных показал, что гидрологические последствия рубок главного пользования определяются фоновыми климатическими параметрами и особенностями лесообразовательного процесса на вырубках. В жестких лесорастительных условиях, когда процессы лесовосстановления затягиваются, на сплошных вырубках усиливается ветровая активность, возрастает зимнее испарение с поверхности снега и снижается сток. По мере зарастания вырубок производными мелколиственными насаждениями усиливаются их снегоаккумулирующие функции и сток начинает возрастать, превышая значения годового стока на водосборах, не тронутых рубкой.

**Ключевые слова:** *Приангарье, вырубки, возобновление, гидрологический режим, водосбор, водный баланс, осадки, испарение, речной сток.*

Антропогенный пресс на лесные экосистемы приводит к нарушению важных биосферных функций лесов, включая водорегулирующие и водоохранно-защитные. Масштабы и глубина проявления таких нарушений, а также специфика восстановления биосферных функций лесов должны учитываться при формировании стратегий устойчивого управления лесами и служить индикаторами состояния природных комплексов. Поэтому одной из актуальных проблем организации устойчивого природопользования на экосистемной основе является получение объективных оценок последствий лесопользования. Однако региональные особенности гидрологических последствий могут проявляться по-разному в зависимости от характера лесозаготовок и фоновых эколого-климатических условий. Освоение лесов промышленной заготовкой древесины на первых этапах приводит к уменьшению общей лесистости территории, затем сопровождается ростом доли молодняков и

увеличением площадей, занятых производными мелколиственными насаждениями. Разумеется, что такие изменения структуры лесного покрова сказываются на соотношении основных элементов водного баланса – суммарного испарения и стока.

Задача данной работы – проанализировать динамику стока рек Нижнего Приангарья в связи с масштабной антропогенной трансформацией лесного покрова, начавшейся во второй половине XX в.

### РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследуемый участок бассейна р. Ангары представляет часть Среднесибирского плоскогорья и характеризуется изрезанной и пересеченной поверхностью без явно выраженных водораздельных возвышенностей. Средняя высота над ур. м. около 310 м. Климат территории резко континентальный. Средняя годовая температура воздуха до  $-4.0$  °С. В среднем

по территории выпадает от 312 до 355 мм осадков за год. Снежный покров на изучаемой территории устанавливается обычно в последней декаде октября. Самое раннее залегание снега - начало октября, самое позднее - конец первой декады ноября. Высота снежного покрова в юго-восточной части территории, по левому берегу Ангары, в среднем не превышает 45 см, а на правобережье достигает 75 см. Почвы дерново-подзолистые, буротажные, дерново-карбонатные, подзолистые иллювиально-гумусовые, подзолы глеевые торфяные и торфянистые, таежные торфянисто-перегнойные высокогумусовые неоглеенные (Средняя Сибирь, 1964). Продолжительные зимы и низкие температуры воздуха способствуют глубокому промерзанию почвы.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследовали водосборные бассейны Приангарья. К анализу были привлечены фондовые материалы Управления гидрометеорологической службы – данные многолетних наблюдений за стоком на гидрологических постах и атмосферными осадками на метеостанциях исследуемого региона (<http://meteo.krasnoyarsk.ru/>), а также фактические данные из литературных источников. Длительность рядов наблюдений на отдельных объектах составляет более 30 лет и включает годы с различной гидроклиматической обстановкой.

Для анализа возрастной и сукцессионной динамики лесных экосистем после рубок и пожаров использовали лесостроительные материалы, литературные данные и результаты собственных исследований в различных районах Приангарья. Многоспектральные изображения использовали в качестве картографической основы в ГИС при совместном анализе с данными таксации лесов в 50-х и 90-х гг. XX в. При проведении маршрутных и стационарных исследований за основу принят метод топоэкологических профилей, заложенных на типичных ключевых участках. Его применение устраняет субъективность подборки пробных площадей, обеспечивает репрезентативность выборки и широкий охват всего разнообразия лесорастительных условий. Пробные площади закладывали согласно об-

щепринятым методикам (Инструкция..., 1995; Рабочие правила..., 1979).

**Динамика лесного покрова на вырубках.** Лесозаготовки в Ангарском регионе являются важным антропогенным фактором, вызывающим широкий спектр социально-экологических последствий – от изменения среды обитания диких животных до трансформации гидрологического режима рек и качества воды. Негативные последствия сведения лесов в первую очередь обусловлены пространственно-временной неравномерностью лесопользования, концентрацией рубок в удобных для лесопромышленных предприятий местах, как правило уже затронутых предшествующей хозяйственной деятельностью, экологическим несовершенством технологий лесозаготовок.

Анализ лесостроительных материалов показал, что за последние десятилетия XX в. в результате хозяйственного использования лесов, воздействия пожаров и биотических факторов лесной покров Приангарья претерпел значительную трансформацию. В начале 60-х гг. широко применялись сплошные концентрированные рубки, достигшие к 1990 г. объема более 10 млн м<sup>3</sup>. Согласно приведенным данным (Соколов и др., 1994), к 1988 г. площадь вырубок в Приангарье увеличилась в 2.4 раза по сравнению с 1966 г. За этот период сплошными рубками пройдено около 500 тыс. га, в том числе вырублено 350 тыс. га сосновых насаждений.

Вследствие того что основные массивы сосновых лесов в бассейне Ангары пройдены рубками главного пользования еще в 60-х гг., в настоящее время они представляют собой мозаику лесовосстановительного процесса с пирогенными вариантами молодняков. Сохранились только приречные коренные древостои, а также участки на удалении 100 км и более от Ангары.

Социально-экономический кризис в России в начале 90-х гг. XX в. привел к сокращению объемов заготовки древесины, но в последние годы они начали постепенно возрастать. В связи с созданием в Приангарье крупных деревообрабатывающих комбинатов следует ожидать очередного этапа активизации заготовки древесины в этом регионе, леса которого уже претерпели сильные нарушения. В конце 70-х гг. крупномасштабные рубки нача-

лись на склонах Енисейского кряжа в Приенисейской лесорастительной провинции, где вырубались пихтовые древостои IV–III классов бонитета, зеленомошной и разнотравной группы типов леса. В настоящее время рубки переместились на верхние части склонов и на водоразделы, где преобладают лиственные и смешанные леса. Лесной покров сильно нарушен и пожарами последних лет.

По результатам космической съемки 2002 г. и данным цифровой топокарты масштаба 1 : 200 000 определена степень нарушенности лесов рубками и пожарами на водосборных бассейнах притоков Ангары второго порядка. Проанализировано 28 водосборов площадью от 20 до 50 км<sup>2</sup>, 16 водосборов – от 50 до 100 км<sup>2</sup> и 8 – более 100 км<sup>2</sup> (Буренина, 2005). Для рек, имеющих площадь водосбора от 20 до 50 км<sup>2</sup>, нарушенность вырубками и пожарами составила от 30 до 50 % от площади водосборного бассейна. На свежие вырубki и гари приходится 5–10 % от площади водосборов, остальная площадь – под молодняками. Лесистость остальных водосборных бассейнов в 2002 г. составляла 80–85 %. На молодняки приходится от 10 до 15 % от площади водосбора, на свежие вырубki и гари – не более 5 %.

Выявленные закономерности в структуре и динамике таежных лесов Приангарья (Соколов и др., 1994) позволили оценить степень нарушенности ангарских лесов и проанализи-

ровать особенности лесовозобновления в древостоях, нарушенных рубками и пожарами. На рис. 1 показаны осредненные данные о нарушенности лесов по основным преобладающим породам для Ангарского региона.

К антропогенным лесам отнесены насаждения, возникшие в историческом промежутке времени в результате как рубок, так и лесных пожаров вследствие деятельности человека. Как следует из диаграммы, на первом месте по нарушенности (более 40 %) сосновые леса Приангарья, на втором – пихтовые и лиственничные.

Результаты лесоводственных исследований в Приангарье свидетельствуют о том, что процесс возобновления сплошных вырубок обусловлен в первую очередь лесорастительными условиями (Соколов, Фарбер, 1999). В сосново-лиственничных лесах, произрастающих на лессовидных и покровных суглинках, возобновление вырубок протекает, как правило, через смену пород, и вырубki в этих условиях возобновляются преимущественно березой. Возобновление вырубок в светло-хвойных лесах, продуцирующих на песчаниках, туфопесчаниках, супесях и песках в средней и южной тайге, подтайге и лесостепи, происходит в основном без смены пород.

Процессы лесовосстановления на вырубках в пихтовых древостоях и в сосново-лиственничных лесах значительно отличаются. На вы-

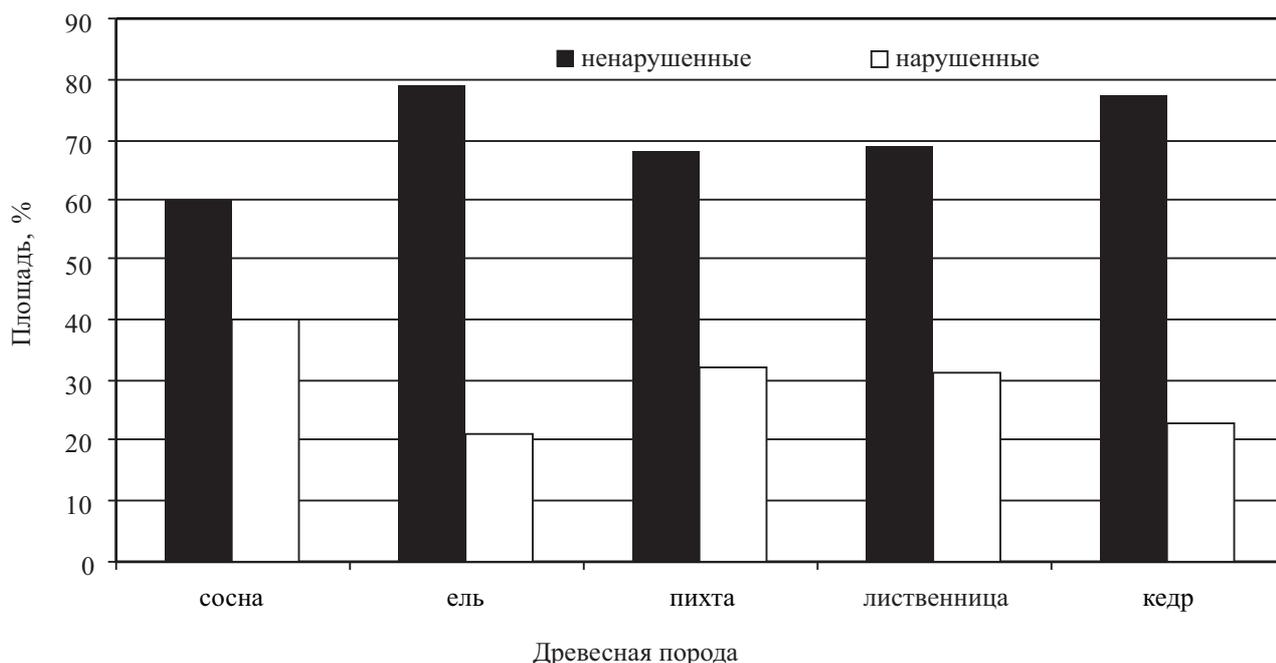


Рис. 1. Соотношение площадей Приангарья, занятых естественными и нарушенными древостоями.

рубках в пихтачах по истечении ювенильного периода формируются смешанные насаждения из сохраненного темнохвойного подроста и лиственных пород (главным образом березы). Последующее возобновление пихты наблюдается только на минерализованных участках с незначительным уплотнением почвы. Молодое поколение леса на вырубках по большей части нежизнеспособно. Причина этого заключается в механическом повреждении сохраненного хвойного подроста и порослевом происхождении подроста лиственных пород.

Количество сохраненного подроста с годами уменьшается за счет выпадения неблагоприятной его части из старших возрастных групп. Окончательный распад насаждения, сформированного из лиственных пород и сохраненного подроста, завершится к 100–120 годам. Затем происходит смена поколений и формируется новый древостой из подроста последующего возобновления.

На основе ландшафтной классификации исследуемого региона для Приангарья выделено (Фарбер и др., 1995) три группы ландшафтов, различающихся по характеру лесовосстановительных сукцессий:

1. Ландшафты с высокоинтенсивной сменой коренных лесов на производные после воздействия на них лесных пожаров и сибирского шелкопряда. Смена темнохвойных лесов на мелколиственные происходит на 65–95 % площади данной категории ландшафтов.

2. Ландшафты со среднеинтенсивной сменой коренных пород на производные. К ним относятся природные комплексы со светлохвойными лесами, произрастающими на лессовидных и покровных суглинках. Смена лиственнично-сосновых и сосновых лесов на смешанные сосново-березовые происходит на 80 % площади ландшафтов данного типа, затронутых рубками главного пользования.

3. Ландшафты со слабой сменой коренных пород на производные. Они представлены лиственнично-сосновыми и сосновыми лесами, развивающимися на песчаниках, туфопесчаниках, супесях и песках в средней и южной тайге, подтайге и лесостепи. После внешних воздействий на 80 % площади этих ландшафтов коренные леса восстанавливаются без смены пород.

**Динамика стока рек бассейна Ангары, вызванная природными и антропогенными факторами.** Исследованиям гидрологических последствий на водосборах после проведения промышленных вырубок в Ангарском регионе посвящен ряд работ (Лебедев, 1980; Лебедев и др., 1984; Буренина, Онучин, 1999; Онучин, Буренина, 2000; Онучин и др., 2007; Onuchin et al., 2009). Согласно данным этих авторов, в наибольшей степени вырубки влияют на изменение сезонной структуры стока. Анализ внутригодового распределения стока на некоторых водосборах Приангарья показал, что при вырубке лесов на больших площадях происходит перераспределение стока за счет увеличения поверхностной составляющей и, следовательно, доли весеннего стока. Более контрастно это выражено на водосборах, где проведены концентрированные рубки на больших площадях. На реках с площадью водосбора 4–5 тыс. км<sup>2</sup> и с площадью свежих вырубок около 1 % от площади водосбора отмечается увеличение весеннего стока на 5–7 %. При вырубке 40–45 % лесов на водосборах, имеющих площади 1–1.5 тыс. км<sup>2</sup>, этот показатель увеличивается на 10–20 %. На небольших реках, таких как Ужет, площадь водосбора которой менее 300 км<sup>2</sup>, доля весеннего стока после рубки может достигать 70–90 %.

Изменения в приходных и расходных составляющих водного баланса после сплошных рубок также отражаются на распределении стока по водоносным горизонтам. Уничтожение древесного полога, который перехватывает до 40 % осадков, предопределяет гораздо большее поступление влаги на поверхность почвы, что в комплексе с нарушением лесной подстилки и ухудшением водно-физических свойств почвы вызывает резкое увеличение склонового стока как в период снеготаяния, так и во время ливневых дождей. При вырубке 10–50 % лесов на водосборах склоновый поверхностный сток увеличивается на 10–20 %, глубокий подземный сток снижается на такую же величину. В Приангарье на водосборах средних рек при площади свежих вырубок от 3 до 10 % происходит увеличение доли склонового стока от 2 до 7 %. Отмечается также снижение стока нижних водоносных горизонтов на 10–20 % на тех реках, водосборы кото-

Модели годового стока водосборных бассейнов притоков Ангары

Река	Уравнение	$R^2$	$G$	$F$
Тасеева	$Y = -495.8 + 60.9 \ln X_z T_{75} + 198.3 \ln X_g Y_p / (t_5 + t_7 + 5) + 1.22 X_g / (t_g + 11)$	0.45	24.8	15.5
Чадобец	$Y = 41.9 + 0.0054 X_z T_{86} + 0.23 X_z X_l / t_5 t_7$	0.50	26.2	20.8
Иркинеева	$Y = 1150.0 + 0.103 T_{84} (X_z - 11.5) + 0.202 X_z X_l / t_5 t_7 - 1.03 T_{60} - 8.64 X_z$	0.51	25.8	9.3
Мура	$Y = 91.0 - 1.3 T_{67} + 1.3 T_{84} - 5.3 t_7 + 7.3 t_9 + 1.8 t_9 t_g + 3.25 X_g / (t_g + 11) - 0.35 X_l$	0.53	14.3	5.8
Карабула	$Y = 58.2 + 0.121 X_z X_l / (t_5 t_7) + 0.54 t_9 (t_g + 11) - 0.5 T_{62}$	0.46	15.8	12.1

Примечания.  $Y$  – годовой сток, мм;  $Y_p$  – годовой сток предыдущего года, мм;  $X_z$  – величина твердых атмосферных осадков по данным ближайшей метеостанции, мм;  $X_g$  – годовая сумма атмосферных осадков по данным ближайшей метеостанции, мм;  $t_{5,7}$  – среднемесячная температура воздуха в мае и июле соответственно;  $t_g$  – среднегодовая температура воздуха;  $X_l$  – величина жидких атмосферных осадков по данным ближайшей метеостанции, мм;  $t_9$  – среднемесячная температура воздуха в сентябре;  $T_{60}$  – время (годы XX в. в интервале от 60 до 84, до 1960 г.  $T_{60} = 60$  const, после 1984 г.  $T_{60} = 84$  const);  $T_{62}$  – время (годы XX в. в интервале от 62 до 80, до 1962 г.  $T_{62} = 62$  const, после 1980 г.  $T_{62} = 80$  const);  $T_{67}$  – время (годы XX в. в интервале от 67 до 84, до 1967 г.  $T_{67} = 67$  const, после 1984 г.  $T_{67} = 84$  const);  $T_{75}$  – время (годы XX в. в интервале от 75 до 99, до 1975 г.  $T_{75} = 75$  const);  $T_{84}$  – время (годы XX в. в интервале от 84 до 99, до 1984 г.  $T_{84} = 84$  const);  $T_{86}$  – время (годы XX в. в интервале от 86 до 99, до 1986 г.  $T_{86} = 86$  const);  $R^2$  – коэффициент множественной детерминации;  $G$  – стандартная ошибка уравнения;  $F$  – Критерий Фишера.

рых пройдены рубками на 20–65 % (Лебедев, 1980; Лебедев и др., 1984).

На водосборах, почвенно-растительный комплекс которых претерпевает антропогенные изменения, даже при одинаковых гидроклиматических условиях меняется генезис формирования стока (Onuchin et al., 2006). Как показали наши исследования, на водосборах рек бассейна Ангары эти изменения совпадают с началом масштабных рубок главного пользования, а также со временем формирования производных листовенных молодняков на вырубках.

В результате обработки методом множественного регрессионного анализа (Львовский, 1988) данных по осадкам, температурному режиму, годовому стоку рек и материалов лесоустройства за временной интервал с 1952 по 1999 гг. (Ресурсы..., 1967; <http://meteo.krasnoyarsk.ru/>) для каждого из водосборных бассейнов получены уравнения, отражающие зависимость годового стока от комплекса гидроклиматических параметров и времени начала масштабных рубок на водосборах (см. табл.).

Анализ гидрологических моделей свидетельствует о том, что их годовой сток достоверно связан с комплексом гидроклиматических параметров и временным фактором. Годовой сток всех рек возрастает с увеличением атмосферных осадков и снижается с ростом июльских, а для первых четырех рек – и майских температур воздуха. Для двух рек – Ка-

рабулы и Муры – увеличение годового стока связано также с ростом сентябрьских температур воздуха, что косвенно свидетельствует о том, что в формировании стока этих рек определенное участие принимает мерзлотная влага периодически оттаивающих верхних горизонтов почв.

Сопряженный анализ изменения стока с динамикой антропогенных изменений на некоторых водосборах Приангарья с учетом климатических и погодных условий позволил выявить временные флуктуации стока, не связанные с изменением осадков (Onuchin et al., 2006, 2009). Для трех рек – Карабулы, Иркинеевой и Муры – отмечен примерно 20-летний временной интервал с начала 60-х гг. XX в., в котором наблюдается снижение стока со временем, что связано, по нашему мнению, с увеличением площадей свежих вырубок, на которых активизируется ветровая деятельность и возрастает зимнее испарение (рис. 2).

Ежегодное снижение стока в течение этого периода оценивается примерно как 0.5–1.3 мм/год. Следовательно, за первые два десятилетия, прошедших с начала освоения приангарских лесов рубками главного пользования, годовой сток рек за счет антропогенных нарушений растительности уменьшился примерно на 10–20 мм.

Следует отметить, что для всех исследованных рек, за исключением Карабулы, начиная с определенного момента прослеживается

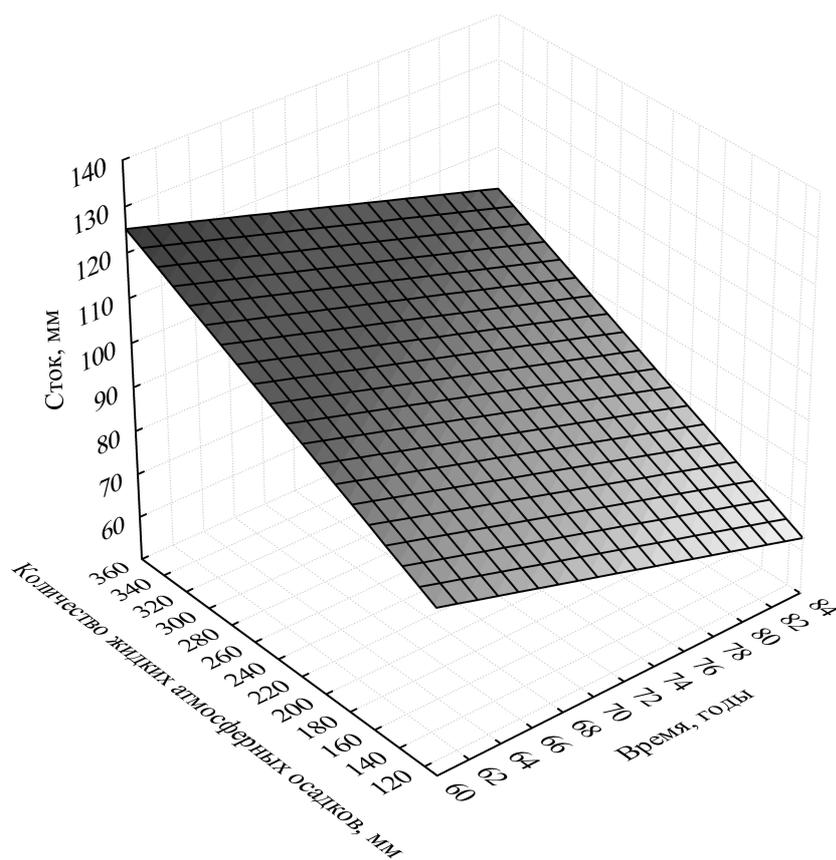


Рис. 2. Зависимость стока рек от времени с начала рубок на водосборах и суммарного увлажнения.

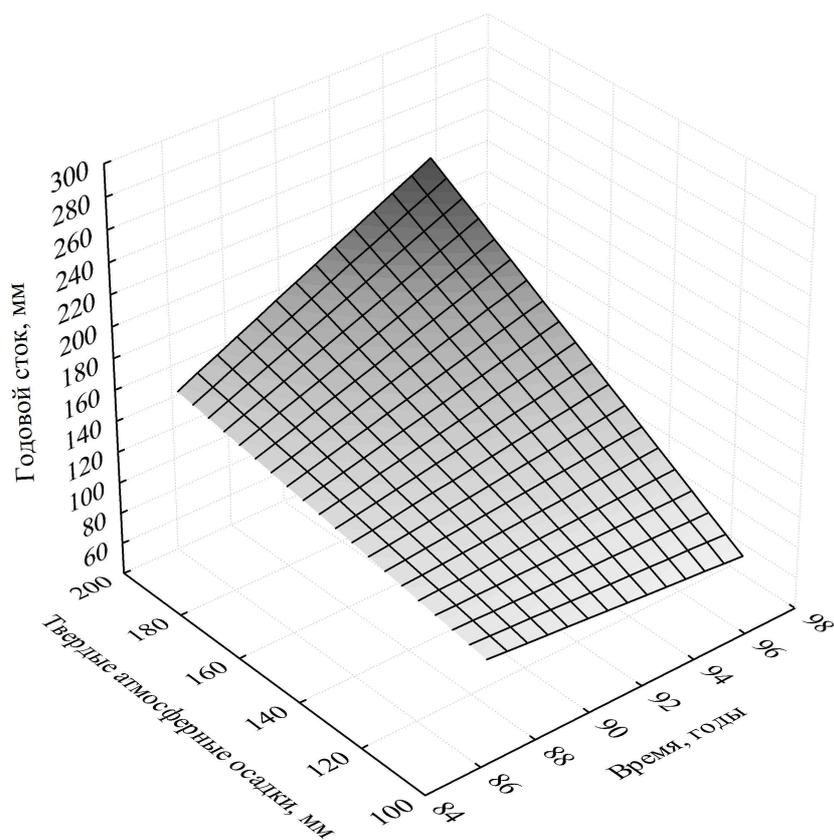
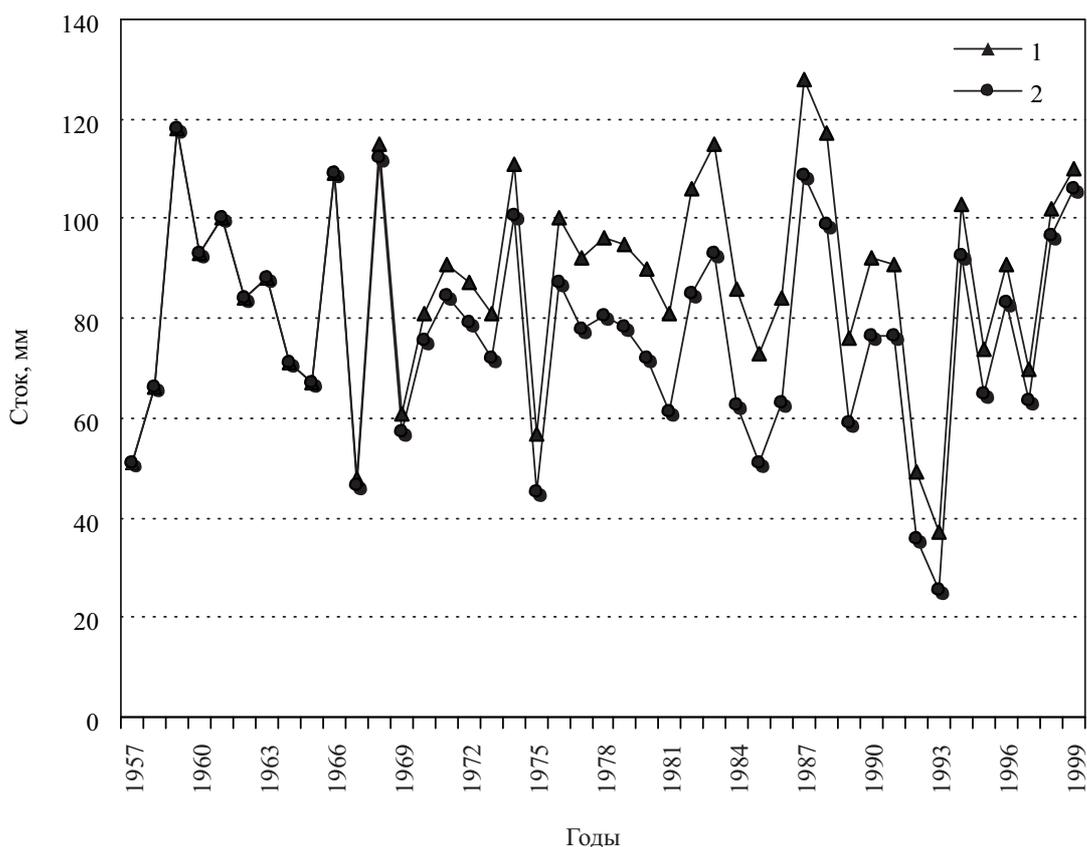


Рис. 3. Зависимость годового стока рек от количества твердых атмосферных осадков и времени с начала формирования лиственных молодняков на водосборах.



**Рис. 4.** Трансформация стока р. Муры в результате рубок и последующих лесовосстановительных сукцессий. 1 – естественный сток, 2 – сток, трансформированный рубками.

тенденция увеличения стока: для Тасеевой это 1975 г., для Иркинской и Муры – 1984, а для Чадобца – 1986 г. Эти временные рубежи неплохо согласуются с началом увеличения площадей производных молодняков на месте сплошных вырубок 50–60-х гг. XX в. По нашему мнению, это связано с незначительным перехватом твердых атмосферных осадков кронами лиственных пород и усилением их снегоаккумулирующих способностей.

Подтверждением этого служит также имеющийся место синэфект, свидетельствующий об усилении роли твердых атмосферных осадков в формировании стока со временем (рис. 3).

Увеличение стока в связи с усилением снегоаккумулирующих функций производных молодняков может достигать, по нашим оценкам, 1,5–3 мм/год. Таким образом, за 20-летний период с начала возникновения лиственных молодняков увеличение среднего годового стока рек по сравнению с периодом до начала интенсивных рубок составило 20–40 мм.

Такой гидрологический эффект, связанный с первоначальным уменьшением стока рек пос-

ле начала масштабных рубок на водосборах и последующим его увеличением, обусловлен спецификой баланса снеговой влаги в условиях континентального климата (рис. 4).

В континентальных условиях Сибири при относительно невысокой зимней влажности воздуха в более суровых лесорастительных условиях, когда затягиваются процессы естественного возобновления на вырубках, свою специфику приобретает и трансформация гидрологического режима территорий. В первые годы после сплошных рубок на обширных открытых участках возрастает ветровая деятельность, что служит причиной активизации метелей, усиления испарения снега и уменьшения снегозапасов. При равных фоновых климатических условиях это приводит к снижению годового стока с водосборов, пройденных рубками. Затем по мере восстановления древесной растительности, особенно если она проходит через смену пород, восстанавливаются и даже усиливаются снегоаккумулирующие функции насаждений, увеличивается и русловый сток с вырубленных водосборов.

Опыт оценки гидрологических последствий рубок главного пользования в условиях Сибири свидетельствует о том, что гидрологический эффект, обусловленный вырубкой леса на водосборах, выражается в первоначальном снижении стока рек за счет усиления зимнего испарения на вырубках и последующем повышении за счет увеличения аккумуляции снега в лиственных молодняках. При этом существенное влияние на структуру водного баланса территорий оказывают фоновые погодноклиматические условия. Согласно результатам исследований в горных странах (Лебедев, 1979; Протопопов и др., 1991; Онучин и др., 2008), в многоводные циклы рубка леса приводит к увеличению годового стока, а в маловодные – не оказывает влияния на его объем или приводит к снижению стока.

### ВЫВОДЫ

Наши исследования свидетельствуют о том, что в Приангарье под влиянием антропогенных воздействий изменился генезис формирования стока рек. Время начала таких изменений хорошо коррелирует как с началом масштабных лесозаготовок, так и с зарастанием вырубок производными лиственными лесами. Изменение генезиса формирования речного стока может служить одним из критериев рационального землепользования. Речной сток интегрирует изменения земного покрова на всей площади водосборов, гидрологические последствия которых могут иметь разный знак и часто компенсируют друг друга. В связи с этим предлагаемый метод диагностики генезиса стока предпочтительнее использовать на водосборах малых и средних рек в относительно сходных природных условиях. В данном случае сопряженный анализ изменения стока с динамикой антропогенных и/или природных изменений на водосборах с учетом климатических трендов и погодных условий позволяет глубже разобраться в причинно-следственных связях изучаемых процессов и сделать содержательные выводы по поводу генетических аспектов формирования стока.

Касаясь проблемы антропогенного влияния на характер формирования стока, можно на основе косвенных показателей утверждать,

что хозяйственная деятельность на водосборах является важным фактором его формирования и приводит к изменению водного баланса территорий с перераспределением его расходной части как в сторону увеличения суммарного испарения и снижения стока, так и наоборот, в зависимости от характера антропогенного воздействия, геофизических условий и временного фактора. При масштабных рубках главного пользования, крупных лесных пожарах антропогенное воздействие и природные нарушения лесной растительности могут стать значимыми факторами, определяющими условия формирования стока.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Буренина Т. А.* Водоохранно-защитные принципы лесопользования в бассейнах рек Северного Приангарья // *Фундаментальные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов: Мат-лы Междунар. конф.* Иркутск, 2005. С. 169–171.

*Буренина Т. А., Онучин А. А.* Динамика стока на водосборах Северного Приангарья // *География и природ. ресурсы.* 1999. № 2. С. 42–46.

Инструкция по проведению лесоустройства в лесном фонде России. М: ВНИИЦлесресурс, 1995. Ч. 1. 175 с. Ч. 2. 112 с.

*Лебедев А. В.* Водный и тепловой балансы природных комплексов // *Средообразующая роль лесов оз. Байкал.* Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. С. 79–136.

*Лебедев А. В.* Роль антропогенных факторов в изменении гидрологических условий некоторых ТПК // *Защитная роль лесов Сибири.* Красноярск: ИЛиДСО АН СССР, 1980. С. 14–30.

*Лебедев А. В., Спиридонов Б. С., Морева А. С., Шараева О. А.* Прогноз изменения гидрологических параметров некоторых водосборов в связи с лесозаготовками // *Трансформация лесными экосистемами факторов окружающей среды.* Красноярск: ИЛиДСО АН СССР, 1984. С. 9–17.

*Львовский Е. Н.* Статистические методы построения эмпирических уравнений. М.: Высш. шк., 1988. 239 с.

Онучин А. А., Буренина Т. А. Антропогенная динамика противоэрозионных и водоохранно-защитных функций горно-таежных лесов Сибири // Лесоведение. 2000. № 1. С. 3–11.

Онучин А. А., Буренина Т. А., Фарбер С. К., Шишикин А. С. Экологические последствия рубок главного пользования в Нижнем Приангарье // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Красноярского края. Красноярск, 2007. Вып. 9. С. 34–43.

Онучин А. А., Гапаров К. К., Михеева Н. А. Влияние лесистости и климатических факторов на годовой сток рек Прииссыкукля // Лесоведение. 2008. № 6. С. 45–52.

Протопопов В. В., Лебедев А. В., Бизюкин В. В., Онучин А. А. Водоохранно-защитная роль лесов бассейна оз. Байкал // Мат. науч. конф. по проблемам водных ресурсов Дальневосточного экономического района и Забайкалья. СПб.: Гидрометеиздат, 1991. С. 298–310.

Рабочие правила по проведению полевых лесоустроительных работ в лесах Восточной Сибири. Красноярск: Вост.-Сиб. лесоустр. предпр., 1979. 129 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР: гидрологическая изученность. Ангаро-Енисейский

район / под ред. Г. С. Карабаева. Л.: Гидрометеиздат, 1967. Т. 16. Вып. 1. 283 с.

Соколов В. А., Аткин А. С., Фарбер С. К. и др. Структура и динамика таежных лесов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1994. 168 с.

Соколов В. А., Фарбер С. К. Организация лесопользования в Нижнем Приангарье. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. 218 с.

Средняя Сибирь. М.: Наука, 1964. 480 с.

Фарбер С. К., Соколов В. А., Казымов С. А. Динамика лесовосстановления на сосновых вырубках Приангарья // Лесн. пром-сть. 1995. № 3. С. 26.

Onuchin A., Balzter H., Borisova H., Blyth E. Climatic and geographic patterns of river-runoff formation in Northern Eurasia // Adv. Water Res. 2006. V. 29. N. 9. P. 1314–1327.

Onuchin A. A., Burenina T. A., Gaparov K. K., Ziryukina N. V. Land use impacts on river hydrological regimes in Northern Asia // Hydroinform. Hydrol., Hydrogeol. Water Res. IAHS, 2009. V. 331. P. 163–170.

<http://meteo.krasnoyarsk.ru/>

## Impact of Forest Harvesting and Forest Regeneration on Runoff Dynamics at Watersheds of Central Siberia

A. A. Onuchin, T. A. Burenina, N. V. Ziryukina, S. K. Farber

V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
Academgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

E-mail: onuchin@ksc.krasn.ru, burenina@ksc.krasn.ru, natlily@mail.ru, sfarber@ksc.krasn.ru

In the paper disturbance of Angara river region forests were estimated and peculiarities of forest regeneration after logging and wild fires were analyzed. According to the landscape classification of the regional study, three groups of landscapes differencing on types of forest successions were developed. It was shown that water protective and water regulate functions of the Angara river region forests change under commercial forest harvesting. Comparisons of the inventory and hydrological data detected that hydrological consequences of commercial forest harvesting are dependent on climatic parameters and forest regeneration peculiarities. In the continental climate conditions, when forest regeneration is delayed, snow storms are more active, snow evaporation increases and runoff reduces. In the process of logging sites overgrown with secondary small-leaved forest, snow accumulation increases and runoff increases, exceeding the value of annual runoff at undisturbed watersheds.

**Keywords:** Angara river region, forest logging, forest regeneration, hydrological regime, river catchments, water balance, precipitation, evaporation, river flow.