

УДК 630*116.1

ПРИЧИНЫ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ПРОТИВОРЕЧИЙ В ОЦЕНКЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ РОЛИ БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ

© 2015 г. А. А. Онучин

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН

660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

E-mail: onuchin@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 10.11.2014 г.

Предпринята попытка раскрыть причины противоречий в оценке гидрологического значения бореальных лесов. Основное внимание уделено изучению особенностей гидрологических циклов на локальном уровне в связи со спецификой растительного покрова и фоновыми климатическими условиями. Утверждается, что соотношение между испарением и стоком в теплый период года в большей мере определяется продуктивностью угодий и в меньшей – характером растительности, будь то лес или другие типы угодий. Такой эффект обусловлен тем, что корневые системы крупных деревьев работают как «мощные глубинные насосы», испаряя влагу и из нижних почвенных горизонтов. В холодный период года, когда атмосферные осадки выпадают в виде снега и надолго консервируются в снежном покрове, интенсивность и направленность потоков влаги не связаны с продуктивностью растительного покрова, а определяются преимущественно характером растительности (лес, безлесное пространство) и условиями окружающей среды. Раскрываются механизмы, определяющие различия в проявлении гидрологических функций лесов. Утверждается, что неоднозначность влияния лесов на перераспределение атмосферных осадков между испарением и стоком обусловлена в основном особенностями баланса снеговой влаги, который определяется как структурой лесного покрова, так и фоновыми погодными-климатическими условиями. Сформулирована концепция географически детерминированной гидрологической роли лесов, которая позволяет объяснить существующие противоречия в оценке водо-охранной роли лесов, т. е. в оценке потребления и производства воды лесом. Полученные результаты могут быть полезны при формировании стратегий землепользования в регионах, где актуальны проблемы взаимосвязи водных ресурсов и лесного покрова.

Ключевые слова: гидрологическая роль лесов, эвапотранспирация, речной сток, водный баланс, лесистость, лесопользование, управление водными ресурсами.

DOI: 10.15372/SJFS20150204

ВВЕДЕНИЕ

Нехватка чистой пресной воды, существующая в ряде регионов, в перспективе будет более ощутимой, в том числе из-за недооценки последствий использования земель, поэтому изучению гидрологической роли лесов, которая продолжает оставаться предметом острых дискуссий, должно уделяться серьезное внимание. Оценка влияния различных систем лесопользования на оптимизацию водных циклов становится чрезвы-

чайно актуальной социально-экономической задачей в условиях, когда большое значение имеет и наличие чистой питьевой воды, и получение дохода от собственно лесных растительных ресурсов (Онучин и др., 2008; Bredemeier, 2011).

Актуальность координации лесопользования с водопользованием, рыболовством и охотой в отдельных регионах стала очевидной в далеком прошлом. В частности, во Франции еще в средние века принимались соответствующие административные акты,

хотя в то время не были известны даже основы круговорота воды, механизмы которого, включая испарение и инфильтрацию, были раскрыты только в конце XVII в. (Verry 2003; Schleppi, 2011). Очевидно, что обладатели знаний о специфике водных циклов лесных экосистем в различных условиях окружающей среды получают научно обоснованный подход к формированию соответствующей лесной политики, позволяющий находить оптимальные (компромиссные) решения в использовании лесов с учетом природных и экономических условий стран и регионов.

Дискуссии, касающиеся оценки гидрологической роли лесов, не ослабевают в течение многих десятилетий. В последнее время возникло понимание того, что причиной существующих противоречий может служить недоучет масштабов гидрологических функций лесов, которые имеют трансграничный характер и проявляются далеко за пределами произрастания лесов. Однако и на локальном уровне у лесных гидрологов нет единства в оценке влияния лесов на величину стока рек и суммарное испарение.

Цель работы – объяснить противоречия, существующие в оценке гидрологической роли лесов различными исследователями. Основное внимание уделяется изучению особенностей гидрологических циклов преимущественно на локальном уровне в связи со спецификой растительного покрова и фоновыми климатическими условиями. Приведенные результаты основаны на экспериментальных данных по русловому стоку рек, перехвату атмосферных осадков растительностью и на данных по суммарному испарению, полученных в различных географических условиях, включая северные тундровые редколесья, горные экосистемы, биомы таежной и умеренной зон (Мурашев, Кузнецова, 1939; Молчанов, 1960; Сабо, 1962; Соседов, 1967; Матвеев, 1968; Протопопов, 1975; Федоров, 1977; Golding and Swanson, 1978; Alton and Fred, 1981; Лебедев, 1982; Крестовский, 1986; Онучин, 1984, 1987, 2001; Рубцов и др., 1986; Протопопов и др., 1991; Onuchin et al., 2006; Sun et al., 2006; Onuchin and Burenina, 2008; Ellison et al., 2012 и др.).

Можно надеяться, что полученные теоретические результаты позволят дать прогноз трансформации гидрологических функций лесов в связи с глобальными климатическими изменениями и будут полезны при формировании лесной политики в части, касающейся оценки биосферных функций лесов.

ИСТОРИЯ ВОПРОСА

Лесогидрологические исследования в различных географических условиях свидетельствуют о том, что эффект, обусловленный характером использования земель на водосборах и изменением их лесистости, может проявляться как в увеличении, так и в уменьшении стока рек. Оценка причин такого неоднозначного влияния лесов на структуру водного баланса остается предметом острых дискуссий (Высоцкий, 1904, 1938; Львович, 1963; Hewlett, 1970; Федоров, 1977; Рахманов, 1984; Крестовский, 1986; Воронков, 1988; Calder, 2002; Andréassian, 2004; Farley et al., 2005; Hamilton, 2008; Онучин, 2009; Ellison et al., 2012; Sun and Liu, 2013).

В свое время Н. А. Воронков (1988) сформулировал три основные концепции гидрологической роли лесов. Первая концепция иссушающей роли лесов, которой и сейчас придерживается большинство лесных гидрологов, основана на том, что суммарное испарение в сомкнутых высокопродуктивных лесах всегда выше, а сток ниже, чем на открытых участках, включая сельхозугодия. Такой эффект обусловлен тем, что корневые системы крупных деревьев работают как «мощные глубинные насосы», испаряя влагу и из нижних почвенных горизонтов (Kleidon and Heimann, 2000; Hamilton, 2008; Казанкин, 2013). Приверженцы этой концепции ссылаются на данные об увеличении суммарного стока после вырубki лесов в ряде регионов как Северной Евразии, так и Северной Америки (Высоцкий, 1904, 1938; Hewlett and Hibbert, 1961; Львович, 1963; Лалл, 1970; Клинцов, 1973; Bosch and Hewlett, 1982; Федоров, Марунич, 1986; Jackson et al., 2005; Van der Salm et al., 2006; Карпечко, Бондарик, 2010; Rosenqvist et al., 2010).

Результаты таких наблюдений сложно поставить под сомнение, поскольку полностью элиминируется влияние природно-климатических условий. Однако при этом сохраняется проблема корректности переноса результатов, полученных на локальных участках, на обширные территории (Hewlett, 1970; Ellison et al., 2012; Sun and Liu, 2013). Необходимо отметить, что Bosch и Hewlett (1982), сделавшие на массовом материале вывод об увеличении стока с уменьшением лесистости, выявили также, что изменение лесистости на 10 % вызывало изменение стока за этот же период на 40 мм для хвойных лесов, на 25 мм – для лиственных и примерно на 10 мм – для кустарниковой растительности.

Вторая концепция основывалась на всеобщей увлажняющей роли лесов. Ее приверженцы, ссылаясь на результаты наблюдений на парных водосборах, на основе корреляционных связей между лесистостью водосборов и осадками, которые имели положительный знак, утверждали, что леса «притягивают» облака и способствуют выпадению осадков (Бочков, 1954; Субботин, 1966; Протопопов, 1975; Побединский, 1976; Рахманов, 1984 и др.). Такой эффект, по их мнению, обуславливался шероховатостью полога леса, которая способствует возникновению восходящих потоков воздуха, переносящих водяные пары в верхние более холодные слои атмосферы, где влага конденсируется, что и приводит к увеличению местных осадков над лесными территориями. Однако противники этой концепции, ссылаясь на слабую аргументацию причинно-следственных связей, резонно утверждали, что причина положительных связей между лесистостью и осадками кроется не в том, что лес «притягивает» осадки, а в том, что леса растут там, где больше выпадает осадков (Лалл, 1970; Лейтон, Родда, 1970). Для опровержения этих возражений необходимы убедительные доказательства, основанные на экспериментальных данных, которых было явно недостаточно у сторонников концепции всеобщей увлажняющей роли лесов. Очевидно, что простой статистический подход, основанный на сравнении больших массивов географически разнородных данных, не позволяет вы-

явить генетические особенности влагооборота лесных и безлесных территорий, раскрывающие суть гидрологической роли лесов.

Имеются многочисленные свидетельства того, что леса по-разному трансформируют структуру водного баланса в зависимости от типа растительности и фоновых климатических условий (Swank et al., 1988; Sun et al., 2006; Wattenbach et al., 2007), однако причины таких различий остаются наиболее слабым звеном гидрологической науки и практически не учитываются в глобальных гидрологических моделях. Ученых и специалистов интересует, почему в одних условиях леса увеличивают суммарное испарение и снижают годовой сток рек, а в других способствуют увеличению стока, снижая эвапотранспирацию. Более того, даже на одних и тех же объектах в различные годы соотношения расходов влаги на испарение лесом и полем существенно различаются в зависимости от характера увлажнения, радиационного и теплового баланса конкретных сезонов (Hewlett, 1970; Михович, 1973; Федоров и др., 1981; Протопопов и др., 1991; Онучин и др., 2008).

Эти противоречия послужили основанием для формирования концепции неопределенной или неустойчивой гидрологической роли лесов (Воронков, 1988), которой придерживались многие лесные гидрологи. Основным и существенным недостатком концепции неопределенной или неустойчивой роли лесов является то, что она не вскрывает механизмы влагооборота, обуславливающие различный гидрологический эффект. Для выяснения механизмов влагооборота и понимания сути гидрологической роли лесов необходимо обратиться к результатам исследований, отражающим трансформацию потоков влаги в лесах и на безлесных территориях в различные сезоны года и в различных физико-географических условиях с учетом характера лесного покрова.

В последнее время возрос интерес к оценке гидрологических функций лесов с учетом масштабов их проявления (D'Almeida et al., 2007; Silva Dias et al., 2009; Ellison et al., 2012; Sun and Liu, 2013). Этот подход заслуживает внимания, и результаты, полученные

на его основе, могут иметь большое значение при обосновании принципов управления лесными и водными ресурсами. Сторонники такого подхода отстаивают мнение, что на глобальном уровне леса способствуют активизации гидрологических циклов, вызывают дополнительное выпадение осадков и увеличивают водопродуктивность. Получение доказательств правоты этих авторов затрудняется из-за больших масштабов, в которых может проявиться положительный эффект увеличения лесистости на водообеспеченность. В литературе приводятся данные о том, что увеличение альбедо, наблюдаемое при сведении лесного покрова, приводит к уменьшению атмосферных осадков и природная среда деградирует по известной схеме: обезлесение, осаваннивание, опустынивание (Лавров, Сдасюк, 1985; Казанкин, 2013). В данной статье обсуждаются вопросы, касающиеся гидрологической роли лесов только на локальном уровне, поскольку и об этом известно далеко не все.

СЕЗОННАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ СПЕЦИФИКА ВЛАГООБОРОТА

Очевидно, что процессы влагооборота во многом обусловлены фазовым состоянием и физическими свойствами воды. В теплый период года, когда вода находится преимущественно в жидком и газообразном состоянии, в приземном слое преобладает вертикальная составляющая потоков влаги. В это время в активный влагооборот (физическое испарение, транспирация, сток) вовлечены все компоненты наземных экосистем, включая почву. Интенсивность и направленность потоков влаги в летний период определяются параметрами почвенно-растительного комплекса, запасами фитомассы растений, в том числе транспирирующей массой хвои и листвы.

Соотношение между испарением и стоком в теплый период года в большей мере определяется продуктивностью угодий и в меньшей – характером растительности, будь то лес или другие типы растительности (Львович, 1963, 1974). Исследования в лесах умеренного и тропического пояса также свиде-

тельствуют о росте эвапотранспирации с повышением продуктивности растительного покрова. Причем, как правило, суммарное испарение в сомкнутых вечнозеленых лесах всегда выше, а сток ниже, чем на открытых участках, включая сельхозугодья (что подтверждает концепцию всеобщей иссушающей роли лесов).

В холодный период года, когда атмосферные осадки надолго консервируются в виде снежного покрова, а транспирация прекращается, активный влагооборот имеет место преимущественно над земной поверхностью. Важнейшими составляющими потоков снеговой влаги и водного баланса в зимний период являются перехват твердых атмосферных осадков пологом леса, испарение с поверхности снежного покрова, горизонтальное перераспределение снега посредством ветрового переноса и испарение снега во время метелей. Зимой интенсивность и направленность потоков влаги не связаны с продуктивностью растительного покрова, а определяются преимущественно характером растительности (лес, безлесное пространство) и условиями окружающей среды.

Как будет подтверждено далее, локальные фитоценотические и региональные климатически обусловленные контрасты проявления гидрологических функций бореальных лесов во многом определяются именно особенностями влагооборота в зимний период. Исследования, проведенные в различных географических условиях, свидетельствуют о том, что перехват снега пологом леса зависит от сомкнутости крон, состава насаждений, возраста древостоев, времени пребывания атмосферных осадков на кронах деревьев, ветрового режима, температуры и количества выпавших атмосферных осадков (Pomroy et al., 1998; Онучин, 2001; Chang, 2003).

Выявлено, что с увеличением сомкнутости и возраста насаждений, а также с ростом доли хвойных увеличивается перехват атмосферных осадков пологом леса и снижается коэффициент снегонакопления. При этом продолжительность пребывания снега в лесном пологе и повышение температуры также приводят к увеличению испарения снега с крон деревьев, в то время как с увеличением

количества выпавшего снега доля перехваченных пологом атмосферных осадков снижается. Значение ветра неоднозначно. В морозную погоду под действием ветра сухой снег быстро осыпается с крон, что приводит к пополнению снегозапасов под пологом леса и снижению испарения с крон деревьев. В условиях мягких и теплых зим влажный снег долго сохраняется в кронах, а умеренная скорость ветра способствует лучшему его испарению.

Таким образом, в теплом климате, где продуктивность лесов выше, зимой лес по сравнению с безлесными угодьями работает как лучший испаритель. Это обусловлено двумя основными причинами: во-первых, снижением непродуктивного испарения снеговой влаги на открытых участках, так как плотный и влажный снег не подвержен ветровому переносу, во время которого испарение растет по экспоненте с увеличением скорости ветра, во-вторых, с повышением тем-

пературы воздуха возрастает перехват снега пологом леса. Эффект увеличения перехвата снега пологом с увеличением температуры обусловлен изменением физических свойств снега – увеличением его пластичности и способности к слипанию частиц снега как друг с другом, так и с кронами деревьев.

В холодном климате, где, как правило, продуцируют низкополнотные древостои, лес, наоборот, накапливает снеговую влагу. Такой эффект обусловлен относительно небольшим зимним испарением в северных редколесьях по сравнению с безлесными территориями. В лесах, произрастающих в холодном климате, зимнее испарение невелико, поскольку с понижением температуры воздуха и снижением полноты древостоев снижается и перехват твердых атмосферных осадков пологом леса. В то же время на открытых участках в условиях суровых зим с увеличением скорости ветра испарение возрастает гораздо сильнее, чем в условиях мяг-

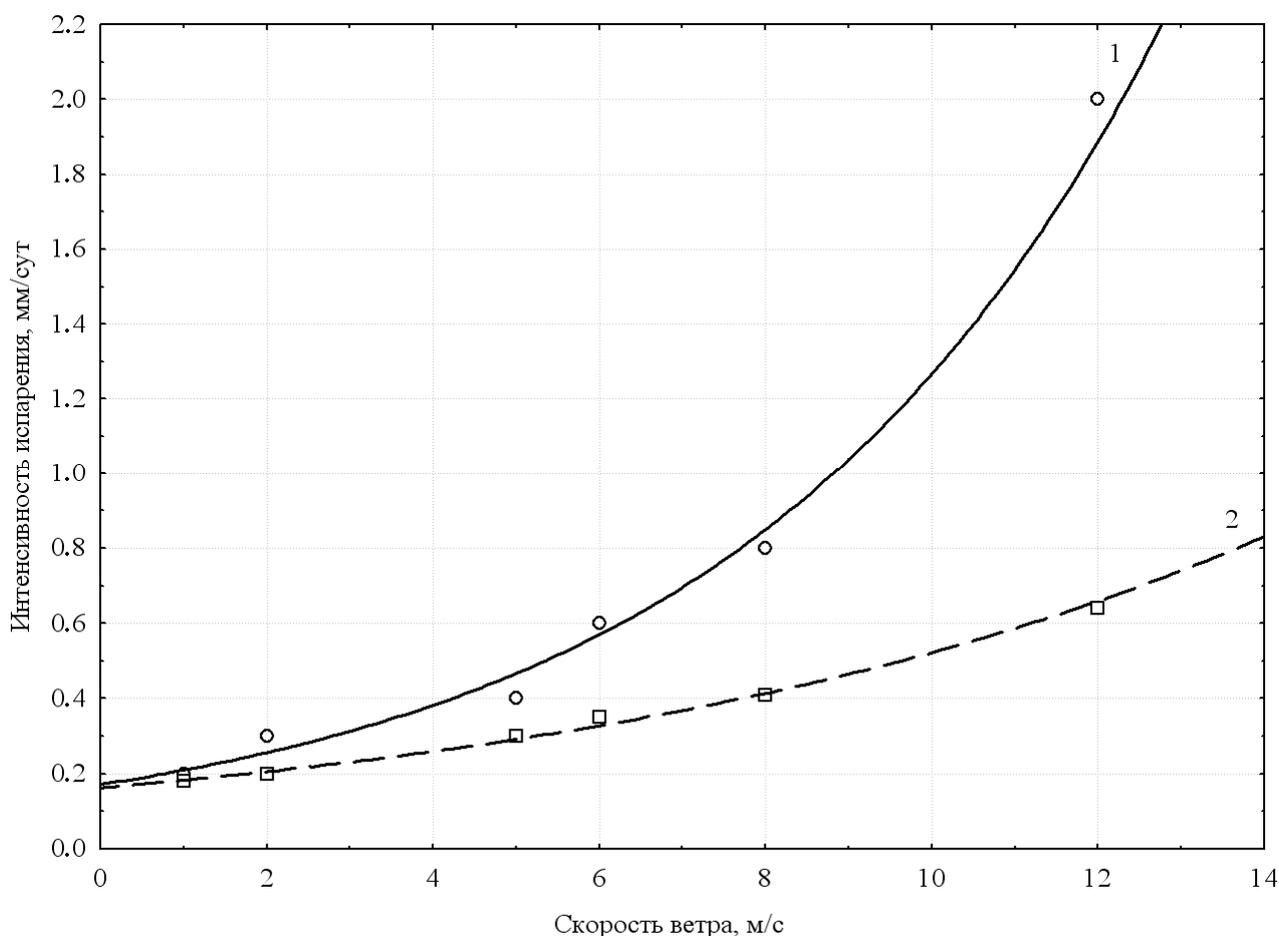


Рис. 1. Зависимость интенсивности испарения снега от скорости ветра. 1 – сухой мелкий снег в условиях суровых зим; 2 – влажный, плотный снег в условиях мягких зим.

ких зим. Подтверждением этому служат результаты активных экспериментов, проведенных в аэродинамической трубе (Онучин, 1987) (рис. 1).

Различия в интенсивности испарения снега в зависимости от скорости ветра в условиях суровых и мягких зим служат причиной того, что при одинаковом количестве твердых атмосферных осадков к моменту снеготаяния на открытых участках в условиях суровых зим по сравнению с мягкими снега сохраняется меньше. Увеличение интенсивности испарения снега в условиях суровых зим связано с активизацией метелей, во время которых сухой мелкий снег поднимается в воздух и площадь испаряющей поверхности снега увеличивается в десятки и сотни раз, соответственно возрастает и интенсивность испарения снеговой влаги. Таким образом, в условиях суровых зим на фоне активной ветровой деятельности леса аккумулируют больше снега, чем безлесные территории, тогда как в условиях мягких зим, наоборот, лесным пологом перехватывается большое количество твердых атмосферных осадков, которые в отсутствие метелей хорошо сохраняются на открытых участках. Это и служит объяснением противоречий, существующих в оценке гидрологической роли лесов различных географических регионов.

ЛАНДШАФТЫ

Проявление гидрологических функций лесных экосистем определяется всем комплексом факторов, формирующих геофизический фон, среди которых ландшафтные факторы иногда играют не менее важную роль, чем климатические. Понятия «лес» и «безлесное пространство» при оценке гидрологической роли лесов всегда должны быть наполнены ландшафтным содержанием (Коломыц, 1975; Schleppe, 2011) и восприниматься с учетом характера лесной растительности и открытых участков (их размеров и конфигурации), а также конкретных климатических условий. Очевидно, что гидрологическое значение лесов обусловлено целым комплексом метеорологических, почвенно-грунтовых, фитоценологических и других факторов.

Интересен анализ снегонакопления на открытых участках в связи с их размерами и фоновыми климатическими условиями. На основе экспериментальных данных (Соседов, 1967; Беркин, Филиппов, 1972; Golding and Swanson, 1978; Онучин, 1984; Онучин и др., 2008) выявлены эмпирические зависимости снегонакопления от размеров открытых участков в различных климатических условиях. При оценке снегоаккумулирующих способностей открытых участков традиционно используется коэффициент сохранения осадков (Соседов, 1967), представляющий отношение снеготаяния к количеству выпавших твердых атмосферных осадков $K = S_n/X$. Выявленные зависимости характерны для регионов, не относящихся к зоне с устойчивым зимним антициклоном (Центральная Эвенкия, Центральная Якутия, север Иркутской области и др.). В графической форме они представлены на рис. 2. Анализ рисунка свидетельствует о снижении снеготаяния с увеличением размеров открытых участков, поскольку при этом возрастает и ветровая активность. Эта зависимость наиболее выражена в условиях холодных зим. В условиях теплых зим размеры открытых участков слабо влияют на накопление снега. В то же время независимо от климатических условий максимальные снеготаяния наблюдаются на открытых участках небольших размеров. Влияние размеров открытых участков на снеготаяние ослабевает также в условиях устойчивого зимнего антициклона при отсутствии ветра.

Исследования, проведенные в Северной Америке, в Европе и Азии, свидетельствуют о том, что перехват атмосферных осадков пологом леса (Матвеев, 1968; Росман, 1974; Alton and Fred, 1981; Рубцов и др., 1986; Онучин, 2001) и перераспределение расходной части водного баланса между испарением и стоком обусловлены возрастом, составом и строением насаждений иногда в большей мере, чем лесистостью водосборов (Воронков, 1988; Chang, 2003; Wattenbach et al., 2007). Опыт оценки гидрологических последствий рубок главного пользования в условиях Сибири свидетельствует о том, что на интегральные оценки процессов влагооборота водосборных

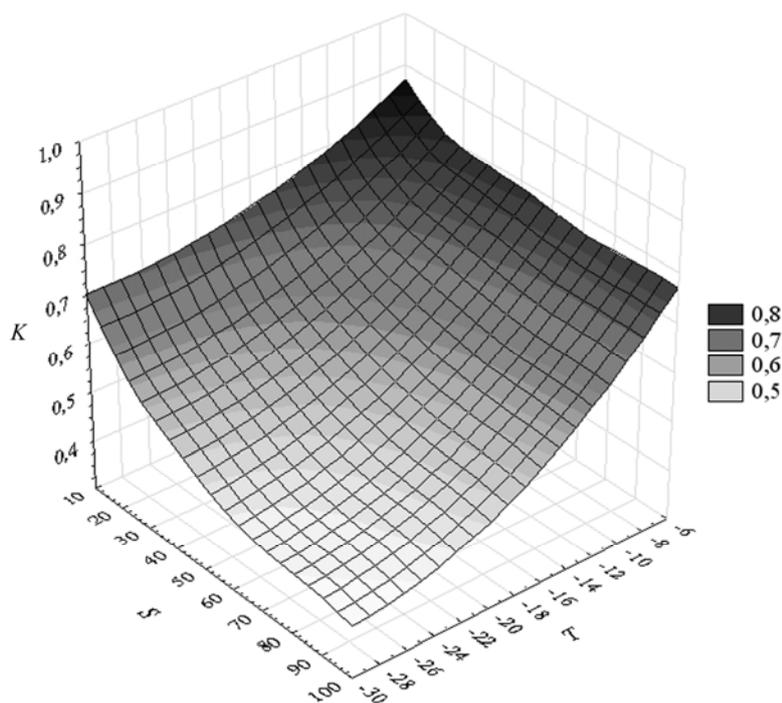


Рис. 2. Зависимость коэффициента снегонакопления от размеров открытых участков и температур воздуха. По осям: K – коэффициент сохранения осадков; S – площадь открытого участка, га; T – отрицательные значения январских температур воздуха, °С.

бассейнов оказывает влияние сочетание множества факторов, в том числе пространственное распределение растительности, рельеф, неоднородность климатических параметров, межгодовая изменчивость увлажнения и теплообеспеченности. После рубки на протяжении периода роста нового поколения леса непрерывно меняется структура биогеоценозов. Поэтому сценарии изменения гидрологического режима территорий зависят не только от климатических изменений, но и от характера последующих лесовосстановительных сукцессий. Все это определяет широкий спектр возможных вариантов трансформации структуры водного баланса геосистем в ответ на нарушения лесного покрова даже в пределах относительно однородных географических условий.

Так, в ряде резко континентальных районов Сибири при относительно невысокой влажности воздуха зимой в более суровых лесорастительных условиях, когда затягиваются процессы естественного возобновления на вырубках, специфику приобретает трансформация гидрологического режима территорий. В первые годы после сплошных рубок на обширных открытых участках усиливает-

ся ветровая деятельность, что служит причиной активизации метелей, увеличения испарения снега и уменьшения снеготранспорта. При равных фоновых климатических условиях это приводит к снижению годового стока с водосборов, пройденных сплошными рубками. Затем, по мере восстановления древесной растительности, особенно если оно проходит через смену пород, восстанавливаются и даже усиливаются снегоаккумулирующие функции насаждений, увеличивается русловый сток с водосборов, зарастающих листовыми породами.

Сопряженный анализ изменения стока с динамикой антропогенных изменений на некоторых водосборах Нижнего Приангарья с учетом климатических и погодных условий позволил выявить временные флуктуации стока, не связанные с изменением количества осадков (Onuchin et al., 2009). Для рек Тасеева, Чадобец, Карабула, Иркинеева и Мура отмечен примерно 20-летний временной интервал с начала 60-х гг. XX в. (начало масштабных рубок леса в Приангарье), в котором наблюдается снижение стока, что связано, вероятно, с увеличением площади свежих вырубок, на которых активизируется

ветровая деятельность и возрастает зимнее испарение. Ежегодное снижение стока в этот период оценивается примерно на 0.5–1.3 мм. Следовательно, за первые два десятилетия, прошедшие с начала освоения приангарских лесов рубками главного пользования, годовой сток рек за счет антропогенных нарушений растительности уменьшился примерно на 10–20 мм. Но с определенного момента для всех исследованных рек прослеживается тенденция увеличения стока со временем. Эти временные рубежи неплохо согласуются с началом возрастания площади производных лиственных молодняков на месте сплошных вырубок 50–60-х гг. XX в., являющихся хорошими аккумуляторами снега. Увеличение стока в связи с усилением снегоаккумулирующих функций производных молодняков по предварительным оценкам достигает 1.5–3.0 мм/год. В условиях Приангарья производные молодняки, как правило, формируются через 20 лет после проведения рубок. Таким образом, начиная с 80–90-х гг. не только произошла полная компенсация снижения стока, вызванного рубкой лесов, но и средний годовой сток рек по сравнению с периодом до начала интенсивных рубок увеличился от 20 до 40 мм (Onuchin et al., 2009). Разумеется, говорить о высокой статистической достоверности количественных оценок в данном случае вряд ли возможно, речь может идти лишь о статистически достоверных тенденциях изменения стока, которые подтверждаются значимостью соответствующих коэффициентов.

С уменьшением континентальности климата реакция гидрологического режима на рубки существенно меняется. Так, анализируя усредненные результаты динамики стока по основным типам лесовосстановления европейской части России и некоторых районов Западной Сибири, О. И. Крестовский (1986) делает вывод о резком увеличении годового стока в первые 10 лет после рубок и о последующем его снижении до минимума (50–60 % от нормы), наблюдаемого через 50 лет после рубок. Увеличение стока автор связывает с усилением снегонакопления на хорошо возобновляемых рубках, а последующее снижение стока – с ростом эва-

потранспирации сомкнутых высокопродуктивных хвойных молодняков, у которых в этот период отмечается пик прироста. Восстановление объема стока, характерного для перестойных лесов, отмечается им через 120–140 лет. Очевидно, это происходит за счет как снижения сомкнутости спелых насаждений и уменьшения перехвата твердых атмосферных осадков, так и уменьшения транспирации после прохождения древостоями пика прироста по запасу. Аналогичные данные получены на рубках в темнохвойных лесах северного макросклона Западного Саяна (Буренина, 1981, 1982; Лебедев, 1982), где в условиях избыточного увлажнения рубка леса вызывает резкое увеличение стока, стабилизация которого по мере лесовосстановления наблюдается не раньше чем через 100 лет.

В горных лесах Прииссыккуля изучены гидрологические последствия облесения водосборных бассейнов (Онучин и др., 2008). Здесь в условиях горного климата и выраженной цикличности влажных и засушливых лет проявилась специфика гидрологических последствий изменения лесистости. Для влажных циклов прослежена тенденция снижения стока с ростом лесистости, а для засушливых, наоборот, отмечены снижение эвапотранспирации и рост суммарного стока.

Таким образом, можно констатировать, что с изменением фоновых климатических условий и фитоценотической структуры лесов меняется и их гидрологическая роль. В холодном климате уменьшение лесистости, как уже отмечено, приводит к активизации метелей, усиленному испарению снега и снижению суммарного стока (рис. 3, а), тогда как в теплом и влажном, где продуктивность лесов выше, лес по сравнению с безлесными угодьями является лучшим испарителем. Это обусловлено двумя основными причинами – отсутствием ветрового переноса, а также снижением непродуктивного испарения снеговой влаги на открытых участках и возрастанием перехвата твердых атмосферных осадков пологом высокопродуктивных сомкнутых древостоев в условиях теплых зим. Лес в таких условиях становится фактором уменьшения стока рек (рис. 3, б).

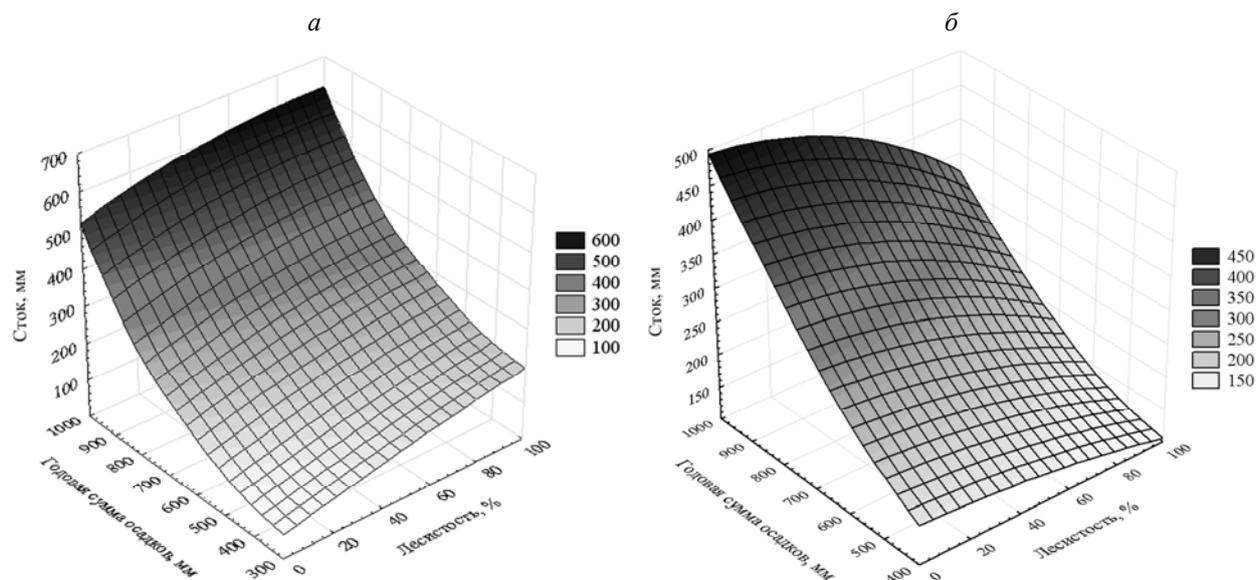


Рис. 3. Зависимость стока от лесистости и суммарного увлажнения в различных климатических условиях: *а* – холодный климат; *б* – теплый климат.

Вырубка леса вызывает резкое увеличение стока за счет того, что на ее месте исчезают некоторые расходные составляющие водного баланса: перехват осадков древесным пологом, транспирация древостоя, в то время как зимние испарения с поверхности снежного покрова на открытых участках и под пологом леса различаются незначительно.

Модели влагооборота с высоким уровнем общности, графические формы которых представлены на рис. 2 и 3, не претендуют на получение точных количественных показателей, хотя посредством частных моделей формирования стока и испарения снеговой влаги стандартные ошибки не превышают 50 мм. Очевидно, что такие модели предназначены для оценки важных с точки зрения лесной гидрологии тенденций изменения потоков влаги в связи с фоновой ландшафтной и климатической ситуацией. Такого рода модели важны для оценки общих закономерностей гидрологических циклов лесных экосистем в различных географических условиях и понимания возможных изменений гидрологической роли лесов в связи с глобальными изменениями климата и растительности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования не охватывают всего разнообразия климатических условий бореальной зоны. Кроме того, следует

иметь в виду, что трансформация водного баланса территории обусловлена также размерами, геологическим строением, структурой водосборных бассейнов, фоновой погодноклиматической ситуацией и другими условиями. Определенный вклад в вариацию годового стока рек могут вносить и синэфекты взаимодействия погодноклиматических и ландшафтных факторов. Поскольку вариации и тренды речного стока обусловлены климатическими и ландшафтными факторами, а ландшафты могут существенно трансформироваться под влиянием антропогенных нагрузок, задача состоит в том, чтобы оценить значение собственно антропогенных факторов в общей вариации водности рек.

Очевидно, что решение проблемы связано с построением корректных моделей, позволяющих оценивать вклад как климатических, так и ландшафтных условий с учетом антропогенных изменений на водосборах. Такие попытки предпринимались ранее при оценке изменения стока под влиянием сельскохозяйственного освоения территорий и в результате искусственного облесения водосборов (Onuchin et al., 2006; Онучин и др., 2008). Имеющийся опыт может, по-видимому, использоваться и для оценки влияния рубок на сток.

Системный взгляд на лесогидрологические процессы не только позволяет объяснить

имевшие место противоречия, но и дает возможность создавать прогнозные модели изменения структуры водного баланса на основе тенденций лесообразовательного процесса с учетом фоновых климатических условий. Таким образом, можно говорить о формировании географически детерминированной концепции гидрологической роли лесов, рассматривающей механизмы влагооборота, обуславливающие различный гидрологический эффект в зависимости от геофизического фона (Онучин, 2009, 2013). Непременным условием практической реализации этой концепции является наполнение понятий «лес» и «безлесное пространство» не только ландшафтным содержанием, но и количественной оценкой. Включение в глобальные гидрологические модели частных моделей влагооборота в комплексе с данными о динамике растительного покрова позволит получать состоятельные пространственно распределенные оценки структуры водного баланса на больших территориях. Очевидно, для этого потребуются данные дистанционного зондирования земной поверхности и использование ГИС-технологий. При этом необходимо принимать во внимание проблемы пространственно-временного масштабирования, мозаичность лесного покрова и др. (Western and Blöschl, 1999; Koivusalo et al., 2011). Такой подход позволит получать прогнозные оценки изменения гидрологического режима территорий в связи с глобальными климатическими изменениями, характером использования земель и может рассматриваться как инструмент экосистемного природопользования, включая и лесопользование.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства РФ (грант № 14.В25.31.0031).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Беркин Н. С., Филиппов А. Х. Величина зимнего испарения в Предбайкалье // Метеорология и климатология Прибайкалья. Иркутск: Изд-во ИГУ, 1972. С. 22–31.

Бочков А. П. Влияние леса и агролесомелиоративных мероприятий на водность рек

лесостепной зоны европейской части СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1954. 136 с.

Буренина Т. А. Динамика структуры водного баланса на вырубке среднегорного пояса Западного Саяна // Актуальные вопросы исследования лесов Сибири. Красноярск: Изд-во ИЛиД СО АН СССР, 1981. С. 19–20.

Буренина Т. А. Динамика восстановления лесогидрологических условий на экспериментальной вырубке Западного Саяна // Средаобразующая роль лесных экосистем Сибири. Красноярск: Изд-во ИЛиД СО АН СССР, 1982. С. 106–114.

Воронков Н. А. Роль лесов в охране вод. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 286 с.

Высоцкий Г. Н. О гидрологическом влиянии лесов. М., 1938. 67 с.

Высоцкий Г. Н. О взаимных соотношениях между растительностью и влагой в южно-русских степях. СПб., 1904. 221 с.

Казанкин А. П. Экологическая роль горных лесов Кавказа Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. 365 с.

Карпечко Ю. В., Бондарик Н. Л. Гидрологическая роль лесохозяйственных и лесопромышленных работ в таежной зоне европейского Севера России. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010. 225 с.

Клинецов А. П. Защитная роль лесов Сахалина. Южно-Сахалинск, 1973. 233 с.

Коломыц Э. Г. Формирование и распределение снежного покрова Сосьвинского Приобья // Сосьвинское Приобье. Иркутск, 1975. С. 158–214.

Крестовский О. И. Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 118 с.

Лавров С. Б., Сдаюк Г. В. Этот контрастный мир: географические аспекты некоторых глобальных проблем. М.: Мысль, 1985. 207 с.

Лалл Г. У. Возможности увеличения полного стока посредством лесохозяйственных мероприятий // Доклады иностранных ученых на Международном симпозиуме по влиянию леса на внешнюю среду. Т. 2. М., 1970. С. 80–99.

Лебедев А. В. Гидрологическая роль горных лесов Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1982. 182 с.

- Лейтон Л., Родда Дж. К.* Леса и осадки // Доклады иностранных ученых на Международном симпозиуме по влиянию леса на внешнюю среду. М., 1970. С. 3–20.
- Львович М. И.* Человек и воды // Преобразование водного баланса и речного стока. М.: Географгиз, 1963. 567 с.
- Львович М. И.* Мировые водные ресурсы и их будущее. М.: Мысль, 1974. 448 с.
- Матвеев П. Н.* Формирование снежного покрова в еловых лесах Тянь-Шаня // Лесоведение. 1968. № 1. С. 79–83.
- Михович А. И.* К установлению нормативов водоохранной лесистости территории Украинской ССР и Молдавской ССР // Лесоводство и агролесомелиорация. Киев: Урожай, 1973. Вып. 33. С. 3–12.
- Молчанов А. А.* Гидрологическая роль леса. М.: АН СССР, 1960. 487 с.
- Мурашев С. И., Кузнецова З. И.* Влияние состава, возраста и полноты насаждений на снеговой режим // Водный режим в лесах. Пушкино: ВНИИЛХ, 1939. С. 27–44.
- Онучин А. А.* Снегоаккумулирующая роль открытых участков в лесных экосистемах Хамар-Дабана // Трансформация лесными экосистемами факторов окружающей среды. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1984. С. 75–86.
- Онучин А. А.* Трансформация твердых атмосферных осадков горными лесами Хамар-Дабана: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1987. 19 с.
- Онучин А. А.* Общие закономерности снегонакопления в бореальных лесах // Изв. АН. Сер. геогр. 2001. № 2. С. 80–86.
- Онучин А. А.* Гидрологическая роль лесных экосистем бореальной зоны // Эколого-географические аспекты лесообразовательного процесса: мат-лы Всерос. конф. с участием иностранных ученых, 23–25 сентября 2009 г. Красноярск, 2009. С. 11–14.
- Онучин А. А.* Локальные и региональные контрасты гидрологических функций лесных экосистем // Разнообразие и динамика лесных экосистем России. М.: Тов-во научных изданий КМК, 2013. Кн. 2. С. 259–264.
- Онучин А. А., Гапаров К. К., Михеева Н. А.* Влияние лесистости и климатических факторов на годовой сток рек Прииссыкуля // Лесоведение. 2008. № 6. С. 45–52.
- Побединский А. В.* Изменение защитной и водорегулирующей роли леса под влиянием рубок // Вопр. геогр. 1976. Вып. 102. С. 169–179.
- Протопопов В. В.* Средообразующая роль темнохвойного леса. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975. 327 с.
- Протопопов В. В., Лебедев А. В., Бизюкин В. В., Онучин А. А.* Водоохранно-защитная роль лесов бассейна оз. Байкал // Мат-лы науч. конф. по проблемам водных ресурсов Дальневосточного экономического района и Забайкалья. СПб.: Гидрометеиздат, 1991. С. 298–310.
- Рахманов В. В.* Гидроклиматическая роль лесов. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 240 с.
- Росман А. П.* Влияние сомкнутости крон на распределение снегозапасов хвойных фитоценозов среднего Сихотэ-Алиня // Водоохранно-защитное значение леса. Владивосток, 1974. С. 47–48.
- Рубцов М. В., Дерюгин А. А., Гурцев В. И.* Влияние леса на запасы и таяние снега в средней тайге европейского Севера // Лесоведение. 1986. № 2. С. 11–16.
- Сабо Е. Д.* Некоторые результаты исследований формирования снежного покрова в лесу // Снежный покров, его распространение и роль в народном хозяйстве. М.: АН СССР, 1962. С. 98–103.
- Соседов И. С.* Исследование баланса снеговой влаги на горных склонах Заилийского Алатау. Алма-Ата, 1967. 198 с.
- Субботин А. И.* Сток талых и дождевых вод. М.: Моск. отд-ние Гидрометеиздата, 1966. 375 с.
- Федоров С. В.* Исследование элементов водного баланса в лесной зоне европейской территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 264 с.
- Федоров С. Ф., Марунич С. В., Буров А. С., Ральцевич Н. Д.* Изменение структуры водного и теплового баланса залесенных территорий под влиянием вырубок // Тр. ГТИ. 1981. Вып. 279. С. 20–31.
- Федоров С. Ф., Марунич С. В.* Об изменении состояния лесного биогеоценоза под влия-

- нием лесохозяйственных мероприятий // Гидрологические исследования ландшафтов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. С. 97–102.
- Alton C., Fred L.* Prediction of snow-water equivalents in coniferous forests // *Can. J. For. Res.* 1981. V. VII. N. 4. P. 854–857.
- Andréassian V.* Waters and forests: from historical controversy to scientific debate // *J. Hydrol.* 2004. V. 291. P. 1–27.
- Bredemeier M.* Forest management and the water cycle – introduction to the challenge // *Forest management and the water cycle. An ecosystem-based approach.* Springer, 2011. P. IX–XV.
- Bosch J. M., Hewlett J. D.* A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration // *J. Hydrol.* 1982. V. 55. P. 2–23.
- Calder I. R.* Forests and hydrological services: reconciling public and science perceptions // *Land Use and Water Resources Research.* 2002. V. 2. P. 1–12.
- Chang M.* Forest hydrology: an introduction to water and forests. CRC, Boca Raton, FL, 2003. 373 p.
- D'Almeida C., Vörösmarty C. J., Hurtt G. C., Marengo J. A., Dingman S. L., Keim B. D.* The effects of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia: a review on scale and resolution // *Intern. J. Climatol.* 2007. V. 27. P. 633–647.
- Farley K. A., Jobbágy E. B., Jackson R. B.* Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy // *Glob. Change Biol.* 2005. V. 11. P. 1565–1576.
- Golding D. L., Swanson R. H.* Snow accumulation and melt in small forest openings in Alberta // *Can. J. For. Res.* 1978. N. 8. P. 380–388.
- Ellison D., Futter M. N., Bishop K.* On the forest cover–water yield debate: from demand- to supply-side thinking // *Glob. Change Biol.* 2012. V. 18. P. 806–820. doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02589.x.
- Hamilton L. S.* Forests and water // *Food and agricultural organization of the United Nations.* Rome, 2008. 78 p.
- Hewlett J. D.* Review of the Catchments experiment to determine water yield // *Joint FAO / USSR International symposium on forest influences and watershed management.* Moscow, USSR, 1970. P. 145–155.
- Hewlett J. D., Hibbert A. R.* Increases in water yield after several types of forest cutting // *Quart. Bull. IASH.* 1961. V. 6. P. 5–17.
- Jackson R. B., Jobbágy E. B., Avissar R., Roy S. B., Barrett D. J., Cook C. W., Farley K. A., Le Maitre D. C., McCarl B. A., Murray B. C.* Trading water for carbon and with biological carbon sequestration // *Science.* 2005. V. 310. P. 1944–1947.
- Kleidon A., Heimann M.* Assessing the role of deep rooted vegetation in the climate system with model simulations: mechanism, comparison to observations and implications for Amazonian deforestation // *Climate Dynamics.* 2000. V. 16. P. 183–199.
- Koivusalo H., Hökkä H., Laurén A.* A small catchment scale approach for modeling effects of forest management on water cycle in boreal landscape. Chapt 23 // *Forest management and the water cycle. An ecosystem-based approach.* Springer, 2011. P. 419–433.
- Onuchin A., Balster H., Borisova H., Blitz E.* Climatic and geographic patterns of river runoff formation in Northern Eurasia // *Adv. Water Res.* 2006. V. 29. P. 1314–1327.
- Onuchin A., Burenina T.* Hydrological role of the Forest in Siberia // *Trends in water research.* NOVA, 2008. P. 67–92.
- Onuchin A., Burenina T., Gaparov K., Ziryukina N.* Land use impacts on river hydrological regimes in Northern Asia // *Hydroinformatics in hydrology, hydrogeology and water resources.* Hyderabad, India, 2009. P. 163–170.
- Pomeroy J. W., Gray D. M., Shook K. R., Toth J. B., Essery R. L. H., Pietroniro A., Hedstrom N.* An evaluation of snow accumulation and ablation processes for land surface modeling // *Hydrol. Processes.* 1998. V. 12. P. 2339–2367.
- Rosenqvist L., Hansen K., Vesterdal L., Van der Salm C.* Water balance in afforestation chronosequences of common oak and Norway spruce on former arable land in Den-

- mark and southern Sweden // *Agr. For. Meteorol.* 2010. V. 150. P. 196–207.
- Van der Salm C., Van der Gon H. D., Wieggers R., Bleeker A., Van der Toorn A.* The effect of afforestation on water recharge and nitrogen leaching in the Netherlands // *For. Ecol. Manag.* 2006. V. 221. P. 170–182.
- Schleppi P.* Forested water catchments in a changing environment. Chapt 5 // *Forest management and the water cycle. An ecosystem-based approach.* Springer, 2011. P. 89–110.
- Silva Dias M. A., Avissar R., Silva Dias P.* Modeling the regional and remote climatic impact of deforestation / Eds. M. Keller, M. Bustamante, J. Gash, P. Silva Dias // *Amazonia and global change.* V. 186. Geophysical Monograph Series. Washington, DC: AGU, 2009. P. 251–260.
- Sun G., Zhou G., Zhang Z., Wei X., McNulty S. G., Vose J. M.* Potential water yield reduction due to reforestation across China // *J. Hydrol.* 2006. V. 328. P. 548–558.
- Sun G., Liu Y.* Forest influences on climate and water resources at the landscape to regional scale / Eds. Bojie Fu, K. Bruce Jones // *Landscape ecology for sustainable environment and culture.* Springer, 2013. P. 309–334.
- Swank W. T., Swift L. W., Douglass J. E.* Streamflow changes associated with forest cutting, species conversion, and natural disturbances / Eds. W. T. Swank, D. A. Crossley // *Forest Hydrology and Ecology at Coweeta.* *Ecol. Stud.* V. 66. N. Y.: Springer, 1988. P. 297–312.
- Verry E. S.* Ground water and small research basins: an historical perspective // *Ground Water.* 2003. V. 41. P. 1005–1007.
- Wattenbach M., Zebisch M., Hattermann F., Gottschalk P., Goemann H., Kreins F., Badec P., Lasch P., Suckow F., Wechsung F.* Hydrological impact assessment of afforestation and change in tree-species composition – a regional case study for the Federal State of Brandenburg (Germany) // *J. Hydrol.* 2007. V. 346. P. 1–17.
- Western A. W., Blöschl G.* On the spatial scaling of soil moisture // *J. Hydrol.* 1999. V. 217. P. 203–224.

The Reasons for Conceptual Contradictions in Evaluating Hydrological Role of Boreal Forests

A. A. Onuchin

*V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation
E-mail: onuchin@ksc.krasn.ru*

The paper attempts to resolve contradictions in the evaluation of the hydrological significance of the boreal forest. The article focuses on the study of the hydrological cycle mainly at the local level in connection with the specificity of vegetation and background of climate. It is stated that the ratio between evaporation and runoff in the warm season is mainly determined by the productivity of land, and less by the type of vegetation, whether forests or other types of land. This effect is due to the fact that the root systems of large trees act as «powerful submersible pumps», evaporating moisture including from the lower soil horizons. In the cold season, when precipitation falls as snow and is permanently preserved in the snow cover, the intensity and direction of the flow of water is not associated with the productivity of vegetation, and is mainly determined by the type of vegetation (forest, treeless space) and by environmental conditions. It is argued that the ambiguity of the impact of forests on the redistribution of precipitation between evaporation and runoff is due mainly features balance of the snow moisture, which is defined as the structure of the forest cover as well as the environment. Concepts of the geographically-determined hydrological role of forests are suggested. The results explain the contradictions in the hydrological role of forests (water consumption and water yield) and may be useful in the formation of land-use strategies in the regions where relationship problems of water resources and forest cover are relevant.

Keywords: *hydrological role of forests, evapotranspiration, river flow, water balance, forest cover, forest use, water resources management.*

How to cite: *Onuchin A. A. The reasons for conceptual contradictions in evaluating hydrological role of boreal forests // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Siberian Journal of Forest Science). 2015. N. 2: 41–54 (in Russian with English abstract).*