



УДК 630*(556.5.06+528)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ АНАЛИЗЕ ЛЕСОГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В БАССЕЙНЕ р. АМУР*

Г.В. Соколова¹, канд. геогр. наук

А.Л. Верхотуров², науч. сотр.

В.А. Егоров³, канд. техн. наук

¹Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, ул. Дикопольцева, д. 56, г. Хабаровск, Россия, 680000; e-mail: pozhar@iver.as.khb.ru

²Вычислительный центр ДВО РАН, ул. Дикопольцева, д. 56, г. Хабаровск, Россия, 680000; e-mail: andrey@ccfebras.ru

³Институт космических исследований РАН, ул. Профсоюзная, д. 84/32, Москва, Россия, 117997; e-mail: smis@smis.iki.rssi.ru

Многолетние исследования ученых подтверждают влияние сокращения лесного покрова на изменение водного режима рек. Необходимо изучать и проводить оценку режима рек совместно с анализом данных лесопокрываемой площади речных водосборов за синхронные периоды времени. Однако это осложняется слабой изученностью из-за редкой сети (порой и отсутствия) пунктов гидрометеорологических наблюдений, а также нерегулярностью лесоустроительных работ, связанной с труднодоступностью бассейнов рек, что присуще большей части территории Дальнего Востока России. С развитием методов и технологий дистанционного зондирования Земли и средств геоинформационных систем появилась возможность проводить такие исследования на новом уровне, базирующемся на спутниковом картографировании растительности с использованием алгоритмов классификации. Преимуществом такого подхода является возможность осуществления ежегодного мониторинга изменения лесопокрываемой территории за вегетационный период, включая труднодоступные районы. При этом

*При обработке данных были использованы ресурсы центра коллективного пользования «Центр данных ДВО РАН». Исследования проведены при частичной поддержке целевой комплексной программы ДВО РАН «Спутниковый мониторинг Дальнего Востока для проведения фундаментальных исследований» (гос. регистрация – № 01.20.0.2.00164) и гранта Министерства образования и науки Хабаровского края на реализацию проектов в 2017 г. в области фундаментальных и технических наук № 200/2017Д.

Для цитирования: Соколова Г.В., Верхотуров А.Л., Егоров В.А. Использование наземных и спутниковых наблюдений при анализе лесогидрологических процессов в бассейне р. Амур // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 9–22. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.9

исключаются неточности, которые могут возникать в различных статистических и отчетных материалах лесоустройства. Нами представлены результаты исследований, проведенных в бассейне р. Амур с использованием данных метеорологических и гидрологических наблюдений и дистанционного зондирования Земли за период 2000–2013 гг. Гидрологическая информация получена с web-сервиса Центра российского регистра гидротехнических сооружений и Государственного водного кадастра, спутниковая информация по растительности – с сервиса ВЕГА ДВ. Метеорологические данные включали базы данных, содержащие климатические показатели территории (Проект ISTC № 4010). Векторные данные границ водосборов получены средствами геоинформационной системы ArcGIS по высотным данным рельефа SRTM3. На примере трех рек (Бурея, Большая Бира, Амгунь) бассейна р. Амур показана синхронная динамика наивысших годовых уровней воды и изменчивости лесных площадей водосборов в результате пожаров и рубок. Дано современное состояние лесогидрологических исследований на Дальнем Востоке в бассейне р. Амур. Сделаны выводы о существенном влиянии длительного сведения лесов в этом районе на увеличение годового максимума дождевых паводков. Предложен «бассейновый» метод определения показателя лесистости на водосборах рек с использованием технологий дистанционного зондирования Земли.

Ключевые слова: водосборы рек бассейна р. Амур, наивысшие годовые уровни воды, лесистость, спутниковое картографирование, геоинформационные системы.

Введение

Во всем мире усугубляется проблема изменения влияния леса на среду и водность рек в условиях сокращения площади лесов в результате массовых пожаров и рубок. Изучение и оценка режима рек на основе анализа данных лесопокрытой площади речных водосборов за синхронные периоды времени – одна из ключевых задач, решение которой осложняется нерегулярными лесоустроительными работами, что связано с труднодоступностью бассейнов рек, присущей большей части территории Дальнего Востока России, сокращением пунктов сети гидрометеорологических наблюдений. Очевидна необходимость применения системного подхода к исследованиям лесогидрологических процессов, что позволило бы ежегодно получать данные о территории бассейна р. Амур. С развитием методов и технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных систем (ГИС) появилась возможность проводить такие исследования на более качественном уровне.

Цель исследования – изучение изменчивости растительного покрова речных водосборов бассейна рек Среднего и Нижнего Амура (от истока до замыкающего водосбор гидрологического поста) с 2000 по 2013 г. и оценка ее влияния на водность рек (высоту волны дождевых паводков). Ограниченные наземные данные о динамике лесопокрытой площади в пределах границ лесхозов и отсутствие этих данных в пределах границ водосборов не позволяют проанализировать влияние состояния нарушенных лесных площадей в бассейнах рек на водный режим. Базовым источником инструментальных данных при проведении лесогидрологических работ являются современные технологии ДЗЗ, которые считаются объективными и свободными от искажений на лесных территориях бассейна р. Амур в локальных условиях климата и рельефа при малой плотности гидрологических постов.

Известно множество публикаций по оценке влияния изменений залесенности водосборов на гидрологический режим рек [1, 14, 15, 16, 18 и др.]. Существенные изменения растительного покрова происходят в результате частых лесных пожаров и интенсивных рубок. Эксплуатация лесов Дальнего Востока началась в 1950-х гг. с разработки кедровников [11], которые вместе с ельниками служили главным объектом лесозаготовок. В те годы леса в бассейне Нижнего Амура занимали до 70...85 % площадей, а залесенность отдельных водосборов достигала 90...100 % [5]. В 1970-х гг. территория бассейна р. Амур все еще оставалась одной из самых лесистых районов мира, в ее пределах располагалось 58 % всех дальневосточных лесов и 43 % лесов Читинской области [4, 5].

На Дальнем Востоке, по данным учета лесного фонда, приведенным в коллективной монографии лесоводов [8], объем древесины хвойных пород, заготавливаемой по системе сплошных промышленных рубок, достигает 65...75 %. В бассейне р. Амур вследствие чрезмерного изреживания лесов более половины лесопокрытых площадей имеют полноту древостоя 0,5 и ниже [8]. Вырубаются и изреживаются все новые и новые лесные территории, а горят они в основном в одних и тех же районах – на свежих или старых вырубках. Именно на них пожары не только начинаются, но и набирают силу, что явно указывает на преобладание человеческого фактора над природно-климатическим. В облесенных водосборах горных рек бассейна Амура, где прошли обширные лесные пожары, нарушался не только древостой, но и лесная подстилка и напочвенный покров, которые впитывают атмосферную влагу, пополняя грунтовые воды.

Интегральным показателем всех спонтанных и антропогенных изменений географической среды является речной сток. Его изменчивость в связи с сокращением лесистости бассейнов рек Среднего и Нижнего Амура изучается с 1950–1960-х гг. [3, 12]. В те годы лесогидрологические разработки базировались на полевых материалах лесоустройства по таксационным выделам, которые затем усреднялись для всей территории лесничества, с использованием массовых сетевых наблюдений Госкомгидромета по речному стоку и климату. Однако не на всех территориях бассейнов рек выполнялись плановые лесоустроительные работы, чтобы эти данные можно было связать с гидрологическим режимом рек. В основном решалась проблема водообеспеченности района, а речной сток рассматривался как одна из главных составляющих водного баланса территории.

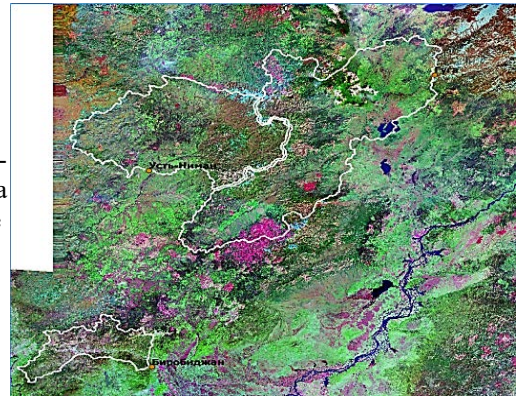
Объекты и методы исследования

В связи с развитием в настоящее время методов ДЗЗ и ГИС-технологий появилась возможность проводить исследования режима рек на новом уровне. В частности, применяется спутниковое картографирование растительности с использованием алгоритмов классификации. Преимущество такого подхода – проведение ежегодного мониторинга изменения лесопокрытой территории в течение всего вегетационного периода, включая и труднодоступные участки.

Согласно выводам, сделанным нами ранее [9, 10], для исследований выбраны актуальные водосборы рек бассейна Амура, в которых леса наиболее часто подвергались пожарам и рубкам.

При построении полигонов исследований были применены высотные данные рельефа SRTM3 [17] и средства ГИС ArcGIS. Используя данные по гидрологическим постам [4–6], с помощью инструмента Hydrology модуля Spatial Analyst Toolbox (модель восьминаправленного стока D8 [13]) были выделены водосборы модельных рек. Космоснимок районов исследований с выделением контуров трех модельных водосборов (р. Большая Бира – г. Биробиджан (внизу), р. Буря – с. Усть-Ниман (слева), р. Амгунь – с. Гуга (справа)) приведен на рис. 1.

Рис. 1. Космоснимок районов исследований лесных водосборов рек бассейна Среднего и Нижнего Амура (модельные водосборы выделены белым контуром)



Источник гидрологической информации – данные Центра российского регистра гидротехнических сооружений и Государственного водного кадастра и web-сервисы [7]. Для анализа климатических условий лесной среды использованы рабочие базы метеорологических данных (Проект ISTC № 4010 [9, 10]). Спутниковая информация содержит данные о площадях растительности на водосборах по четырем существующим типам (лес, степь, луг, болото) и на послепожарных гарях, включая площади рубок, за каждый год (с 2000 по 2013 г.). В качестве спутниковой информации по растительности выступал сервис ВЕГА ДВ [2]. Векторные данные границ водосборов были получены средствами системы ArcGIS по высотным данным рельефа SRTM3 [17]. Анализ изменения лесопокрытых площадей в рамках выделенных водосборов проведен на основе изучения серии карт растительного покрова, предоставленных Институтом космических исследований РАН с использованием данных прибора MODIS, установленного на спутнике Terra, и метода локальной адаптивной классификации LAGMA [2, 13].

Методика обработки и анализа спутниковой информации, представленной по всем существующим типам растительности, заключалась в следующем. Лес рассматривался как тип растительности: прямостоящий (хвойный и лиственный) и стелющийся (кедровостланичники) лес. Из спутниковой информации для каждого речного бассейна за каждый год выбирались данные по трем лесным формациям, как это принято при лесоустройстве: хвойный лес,

лиственный лес, хвойные кустарники. Для получения данных о площади хвойного леса суммировались площади темно- и светлохвойных вечнозеленых лесов и лиственничников (хвойных листопадных, включая их редины). Площадь лиственного леса состояла из площадей, занятых мелколиственными (мягколиственными) и крупнолиственными (твердолиственными) породами деревьев, смешанными лесами с преобладанием хвойных или лиственных пород.

В бассейнах рек с горным рельефом и суровым климатом (Амгунь, Буряя, Горин, Кур, Урми) методами ДЗЗ ежегодно фиксировались еще и площади лиственных кустарников и кустарниковой тундры, которые также учитывались при подсчете лесистости речного водосбора.

Площадь свежих гарей по каждому водосбору включала в себя площадь не только послепожарных гарей, но и вырубок. Строились хронологические графики динамики площадей лесов и гарей, совмещенные с максимальными годовыми уровнями воды по замыкающему данный водосбор гидроствору. На речном водосборе анализировалась динамика трех совмещенных природных характеристик системы «лес–гари–вода».

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные нами с применением методов ДЗЗ результаты определения площади речного водосбора от истока до гидрологического поста и его лесистости в сравнении с ранее опубликованными данными приведены в таблице.

Площадь водосборов и лесистость модельных рек бассейна Среднего и Нижнего Амура

Река (гидрологический пост – пункт наблюдений)	Площадь, км ²		Лесистость, %	
	Опубликовано [4–6]	ДЗЗ	Опубликовано [4–6]	ДЗЗ (2000–2013 гг.)
Амгунь (с. Гуга)	41 000	40 636	71	68,8
Биджан (с. Биджан)	7 000	7 244	69	52,3
Большая Бира (г. Биробиджан)	7 560	7 548	86	86,9
Буряя (с. Усть-Ниман)	26 500	26 364	87	76,7
Горин (с. Бактор)	18 300	18 333	75	65,0
Кур (с. Новокуровка)	11 600	11 487	82*	81,0
Манома (с. Манома 1-я)	2 220	2 448	94	92,3
Нимелен (с. Осипенко)	14 100	13 882	–	71,9
Тырма (у ж/д моста)	6 550	6 561	83**	78,8
Урми (с. Кукан)	10 600	10 466	85	90,1
Хор (пос. Хор)	24 500	23 929	– ***	96,3
Яурин (с. Аланап)	3 130	3 138	83**	80,3

* По пункту наблюдений р. Кур – устье руч. Синки, расположенному выше с. Новокуровка (по течению реки) на 28 км (площадь водосбора – 11 400 км²).

** Средняя по району величина залесенности [5, с. 105].

*** Отсутствуют показатели лесистости по всем водосборам рек бассейна Усури (правый приток р. Нижний Амур) [6].

Как видно из таблицы, площади речных водосборов, рассчитанные методами ДЗЗ, практически не отличаются от опубликованных ранее, которые в те годы (1950–1960-х гг.) определялись вручную по крупномасштабным картам с помощью планиметра. Средняя за 2000–2013 гг. лесистость по каждому водосбору в основном уменьшилась за последние полвека. Исключение составляет горнотаежный бассейн р. Урми, где наблюдается увеличение залесенности вследствие снижения числа лесных пожаров и труднодоступности территории для рубок (средняя площадь свежих гарей – 324 га/год).

Рассмотрим территорию Еврейской автономной области, которая, по данным ДальНИИЛХ [8], имеет наибольшую горимость лесов в Дальневосточном федеральном округе. Очевидно, что это должно отразиться на уменьшении лесопокрытой площади и, с большой вероятностью, на водности р. Большая Бира, пересекающей эту территорию в створе гидропоста г. Биробиджан. Спутниковые данные с точным пространственным охватом лесопокрытой площади за предшествующие годы в связи с динамикой наивысших годовых уровней воды р. Большая Бира у г. Биробиджан позволяют выполнить объективную оценку взаимодействия этих природно-климатических факторов (рис. 2, см. таблицу).

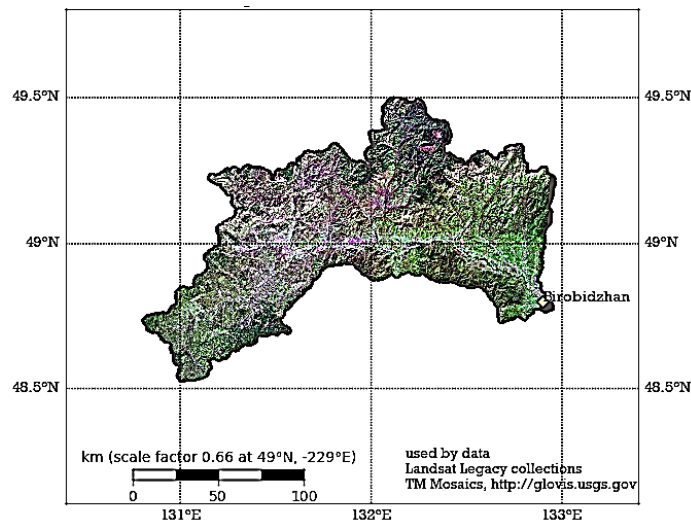


Рис. 2. Водосбор р. Большая Бира от ее истока до г. Биробиджан

Несмотря на благоприятные для лесной растительности метеорологические условия, которые выявлены нами ранее по международному проекту ISTC [9, 10], площадь лесов за 13 лет постепенно сокращалась под антропогенным гнетом (в результате пожаров по вине человека и рубок). Особенно пострадали смешанные леса (рис. 3, *a*), при этом отмечается положительный тренд годовых максимумов воды в реке (рис. 3, *b*) вплоть до 2013 г. в связи с катастрофическими наводнениями на реках Амур и Большая Бира (впадает в р. Амур).

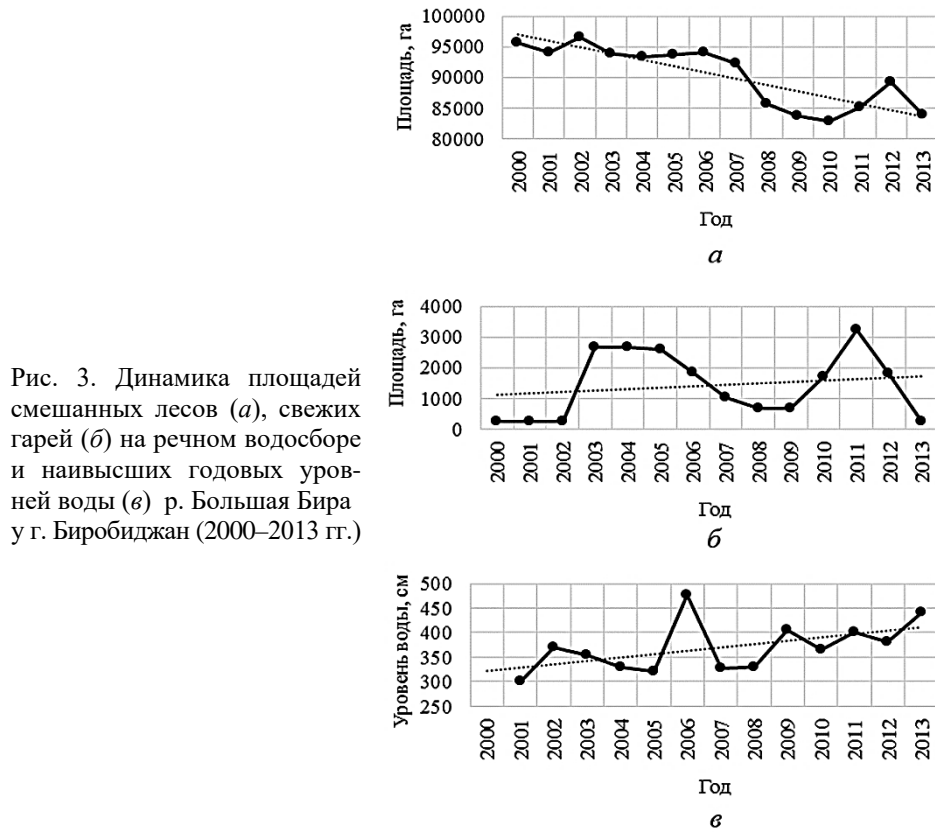


Рис. 3. Динамика площадей смешанных лесов (а), свежих гарей (б) на речном водосборе и наивысших годовых уровней воды (в) р. Большая Бира у г. Биробиджан (2000–2013 гг.)

В бассейне р. Буря – с. Усть-Ниман (рис. 4), расположенном выше (по течению реки) верхней границы Бурейского водохранилища, изменение площадей лесов и свежих гарей с 2000 по 2013 г. имеет почти зеркальное отражение.

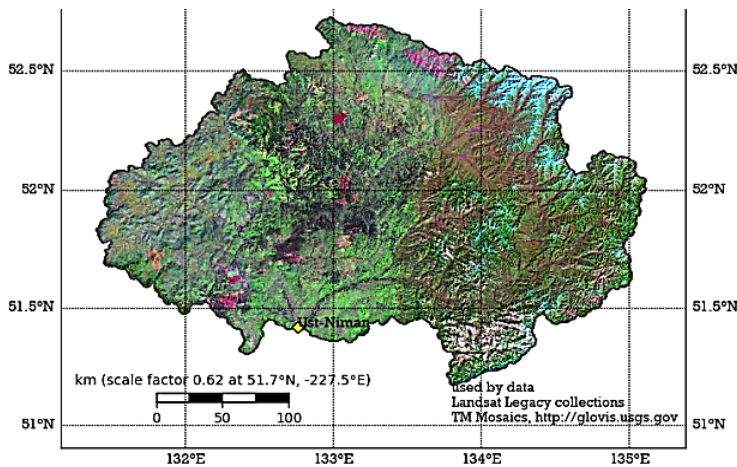


Рис. 4. Водосбор р. Буря от ее истока до с. Усть-Ниман

При сложившихся за этот период условиях, когда изменчивость лесопокрытой площади характеризовалась отрицательным трендом, в режиме р. Буреи отмечается тенденция увеличения максимальных отметок дождевых паводков в замыкающем гидростворе с. Усть-Ниман (рис. 5, см. таблицу).

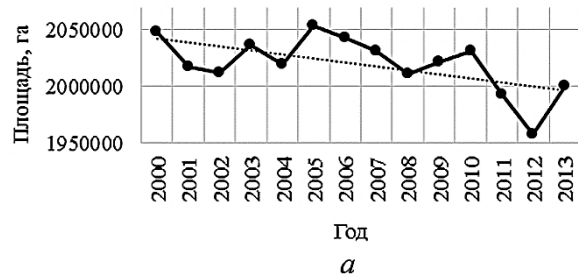
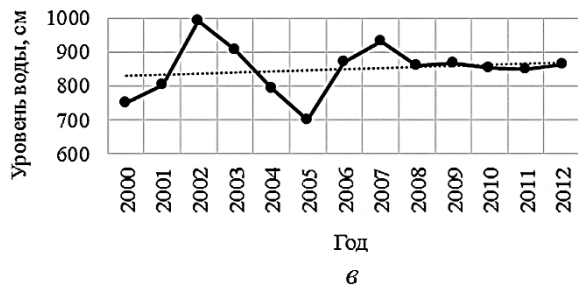
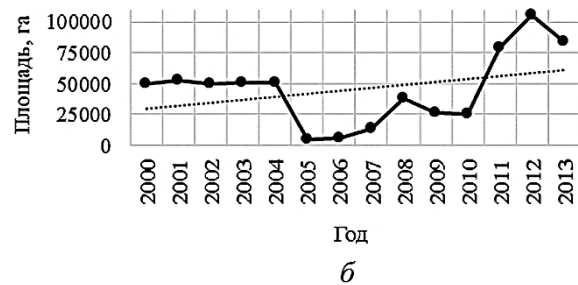


Рис. 5. Динамика площадей лесов (а), свежих гарей (б) на речном водосборе и наивысших годовых уровней воды (в) р. Бурея у с. Усть-Ниман (2000–2013 гг.)



Аналогичная картина наблюдается и в бассейне р. Амгунь с площадью водосбора от истока до гидропоста у с. Гуга (рис. 6, см. таблицу). Здесь отмечается уменьшение лесных площадей, это особенно заметно по изменению площадей светлохвойных вечнозеленых (сосна) лесов (рис. 7, а).

Изменчивость лесопокрытой площади сосновых лесов характеризуется отрицательным трендом. В режиме р. Амгунь наблюдается тенденция увеличения максимальных отметок дождевых паводков в створах, расположенных выше и ниже по течению реки (относительно с. Гуга, до которого рассчитана

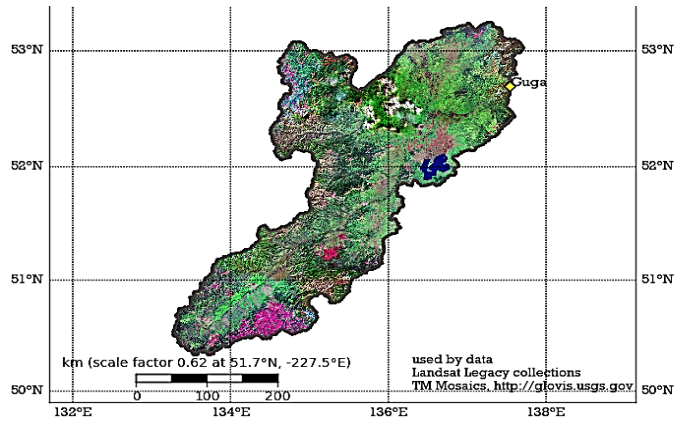


Рис. 6. Водосбор р. Амгунь от ее истока до с. Гуга

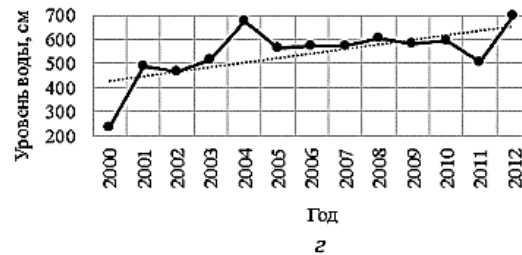
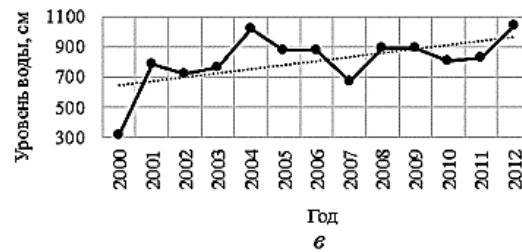
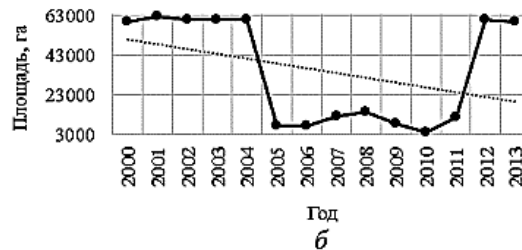
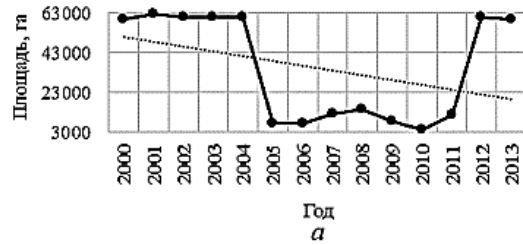


Рис. 7. Динамика площадей сосновых лесов (а), свежих гарей (б) и наивысших годовых уровней воды р. Амгунь (в, г): в – у с. Осипенко (выше с. Гуга по течению реки); г – у с. Удинское (ниже с. Гуга по течению реки) (2001–2013 гг.)

площадь лесов методом ДЗЗ). По данным метеостанции им. П. Осипенко, на территории речного бассейна с 2000 г. не было засух [9, 10], которые могли способствовать размножению древесных вредителей, повреждающих леса, что указывает на основную роль антропогенного фактора в уничтожении лесов в сравнении с погодно-климатическими условиями.

Выводы

Результаты анализа комплексных хронологических графиков распределения годовых максимумов воды в замыкающем водосбор гидростворе, площадей лесной растительности и свежих гарей (после пожаров и вырубок) на водосборе, а также метеоэлементов среды обитания растений подтверждают выводы, сделанные нами ранее [1, 9, 10].

В ходе исследований установлено:

1. На основе спутниковой информации об изменчивости лесопокрытой площади речных водосборов с 2000 по 2013 г. выявлена тенденция уменьшения лесопокрытой площади за счет уничтожения лесов обширными пожарами и рубками. Кривые распределения площадей леса и свежих гарей на хронологических графиках имеют почти зеркальное отражение.

2. Сопоставление тенденции уменьшения лесопокрытой площади речных водосборов с 2000 г. с природно-климатическими факторами (обильные весенне-летние осадки, высокое предшествующее увлажнение почвы), изученными нами ранее [1, 9, 10], указывает на существенное влияние многолетней деятельности человека на территории бассейна р. Амур. Это сказывается на водном режиме рек: положительные тренды пиков дождевых паводков в замыкающем водосбор гидростворе соответствуют отрицательным трендам лесопокрытой площади на модельных водосборах.

3. Предлагается «бассейновый» метод определения показателя лесистости (т. е. учет отношения лесопокрытой площади речного бассейна к общей площади водосбора до замыкающего поста по данным ДЗЗ). При этом данные ДЗЗ относительно площадей по типам растительности на больших территориях за многолетний период наблюдений более объективны и лишены искажений.

В перспективе полученные результаты позволяют создать ГИС, необходимую для проведения лесогидрологических исследований на современном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Верхотуров А.Л., Соколова Г.В., Погорелов С.А.* Совместный анализ данных спутниковых и наземных наблюдений при исследовании гидрологического режима водосборов рек (на примере Среднего и Нижнего Амура) // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Сер.: Информ. технологии. 2016. Т. 14, № 1. С. 5–12.

2. *Лулян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толтин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е.* Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («Вега») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 1. С. 190–198.

3. *Опритова Р.В.* Надземная фитомасса лесов и речной сток в Южном Сихотэ-Алине. Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. 118 с.

4. Ресурсы поверхностных вод СССР Т. 18. Дальний Восток. Вып. 1. Верхний и Средний Амур. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 781 с.

5. Ресурсы поверхностных вод СССР Т. 18. Дальний Восток. Вып. 2. Нижний Амур. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 592 с.

6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18. Дальний Восток. Вып. 3. Приморье. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 627 с.

7. Российский регистр гидротехнических сооружений. Режим доступа: <http://waterinfo.ru/gts/index.php> (дата обращения: 03.02.2013).

8. Современное состояние лесов российского Дальнего Востока и перспективы их использования / под ред. А.П. Ковалева. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2009. 470 с.

9. *Соколова Г.В.* Метод долгосрочного прогноза показателей пожарной опасности в лесах Приамурья на основе учета параметров атмосферной циркуляции // Лесн. журн. 2014. № 5. С. 50–62. (Изв. высш. учеб. заведений).

10. *Соколова Г.В., Макогонов С.В.* Разработка методики лесопирологического прогноза (на примере Дальнего Востока) // Метеорология и гидрология. 2013. № 4. С. 12–18.

11. *Соловьев К.П.* Кедрово-широколиственные леса Дальнего Востока и хозяйство в них. Хабаровск: Хабар. кн. изд-во, 1958. 367 с.

12. *Широкова М.Р.* Регулирующая роль леса в бассейне Нижнего Амура // Материалы Всесоюз. совещ. по водоохранно-защитной роли горных лесов, 13–17 авг. 1976 г. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО РАН, 1976. С. 8–12.

13. *Bartalev S.A., Egorov V.A., Loupian E.A., Khvostikov S.A.* A New Locally-Adaptive Classification Method LAGMA for Large-Scale Land Cover Mapping Using Remote-Sensing Data // Remote Sensing Letters. 2014. No. 5(1). Pp. 55–64.

14. *Bonell M.* Possible Impacts of Climate Variability and Change on Tropical Forest Hydrology // Climatic Change. 1998. Vol. 39, iss. 2-3. Pp. 215–272.

15. *Jenson S.K., Domingue J.O.* Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1988. No. 54(11). Pp. 1593–1600.

16. *Jones J.A., Post D.A.* Seasonal and Successional Streamflow Response to Forest Cutting and Regrowth in the Northwest and Eastern United States // Water Resources Research. 2004. Vol. 40, iss. 5.

17. SRTM Data. Режим доступа: http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/ (дата обращения: 06.06.2016).

18. *Swank W.T., Swift L.W. Jr., Douglas J.E.* Streamflow Changes Associated with Forest Cutting, Species Conversions, and Natural Disturbances // Forest Hydrology and Ecology at Coweeta / Ed. by T. Wayne, D.A. Swank, D.A. Crossley. New York: Springer, 1988. Pp. 297–312.

Поступила 18.05.17

UDC 630*(556.5.06+528)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.9

Use of Ground and Satellite Observations in the Analysis of Forest-Hydrological Processes in the Catchment of the Amur River

G.V. Sokolova¹, Candidate of Geographic Sciences

A.L. Verkhoturov², Research Officer

V.A. Egorov³, Candidate of Engineering Sciences

¹Institute of Water and Ecological Problems, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Dikopol'tseva, 56, Khabarovsk, 680000, Russian Federation; e-mail: pozhar@ivep.as.khb.ru

²Computing Centre, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Dikopol'tseva, 56, Khabarovsk, 680000, Russian Federation; e-mail: andrey@ccfebras.ru

³Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, ul. Profsoyuznaya, 84/32, Moscow, 117997, Russian Federation; e-mail: smis@smis.iki.rssi.ru

Long-term studies of scientists confirm the effect of forest cover reducing on changes in the water regime of rivers. We should study and assess the regime of rivers in conjunction with the analysis of data of forest-covered area of river watersheds for synchronous periods of time. However, this is complicated by poor knowledge due to the rare network of hydrometeorological observation points, as well as by irregular forest management works related to the inaccessibility of river basins, which is inherent to the great territory of the Far East of Russia. We have the possibility to conduct such studies at a new level based on satellite vegetation mapping using the classification algorithms due to the development of methods and technologies for remote sensing of the Earth and GIS. The advantage of this approach is the possibility of annual monitoring of changes in forest cover during the vegetation period, including hard-to-reach areas. At the same time, inaccuracies that may occur in various statistical and reporting materials of the forest inventory are excluded. We present the results of studies conducted in the basin of the Amur river with the use of meteorological and hydrological observations and remote sensing data for the period of 2000–2013. Hydrological information is obtained from the web-service of the Center of the Russian Register of Hydraulic Structures and the State Water Cadastre; satellite information on vegetation – from the VEGA DV service. Meteorological data include databases containing climatic indicators of the territory (Project ISTC no. 4010). The vector data of the watershed boundaries are obtained by means of the geographic information system ArcGIS from the high-altitude data of the relief SRTM3. By the example of three rivers (Bureya, Bolshaya Bira, Amgun) of the Amur river basin we demonstrate the synchronous dynamics of the highest annual high water levels and the variability of forest areas of catchments as a result of fires and felling. The present state of forest hydrological studies in the Far East in the Amur river basin is given. The authors draw conclusions about the significant influence of long-term forest clearance in this region on an increase

For citation: Sokolova G.V., Verkhoturov A.L., Egorov V.A. Use of Ground and Satellite Observations in the Analysis of Forest-Hydrological Processes in the Catchment of the Amur River. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 9–22. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.9

in the annual maximum of rainfall floods. A “basin” method for determining the indicator of forest cover in catchments of rivers using remote sensing technologies of the Earth is proposed.

Keywords: watershed of rivers of the Amur river basin, highest annual high water level, forest cover, satellite mapping, GIS.

REFERENCES

1. Verkhoturov A.L., Sokolova G.V., Pogorelov S.A. Sovmestnyy analiz dannykh sputnikovykh i nazemnykh nablyudeniy pri issledovanii gidrologicheskogo rezhima rek (na primere Srednego i Nizhnego Amura) [Joint Analysis of Satellite Data and Ground-Based Observations in the Study of the Hydrological Regime of Watersheds Rivers (on Example of the Middle and Lower Amur)]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Informatsionnye tekhnologii* [Novosibirsk State University Journal of Information Technologies], 2016, vol. 14, no. 1, pp. 5–12.
2. Lupyay E.A., Savin I.Yu., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Balashov I.V., Plotnikov D.E. Sputnikovyy servis monitoringa sostoyaniya rastitel'nosti («Vega») [Satellite Service for Vegetation Monitoring VEGA]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz Kosmosa* [Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space], 2011, vol. 8, no. 1, pp. 190–198.
3. Opritova R.V. *Nadzemnaya fitomassa lesov i rechnoy stok v yuzhnom Sikhote-Aline* [Overground Phytomass of Forests and River Runoff in the Southern Sikhote Alin]. Vladivostok, DVO RAN Publ., 1991. 118 p. (In Russ.)
4. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 18. Dal'niy Vostok. Vyp. 1. Verkhniy i Sredniy Amur* [Resources of Surface Waters of the USSR. Vol. 18. The Far East. Iss. 1. The Upper and Middle Amur River]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1966. 781 p. (In Russ.)
5. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 18. Dal'niy Vostok. Vyp. 2. Nizhniy Amur* [Resources of Surface Waters of the USSR. Vol. 18. The Far East. Iss. 2. The Lower Amur River]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1970. 592 p. (In Russ.)
6. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 18. Dal'niy Vostok. Vyp. 3. Primor'e* [Resources of Surface Waters of the USSR. Vol. 18. The Far East. Iss. 3. Primorye]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1972. 627 p. (In Russ.)
7. *Rossiyskiy registr gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Russian Register of Hydraulic Structures]. Available at: <http://waterinfo.ru/gts/index.php> (accessed 03.02.2013).
8. Kovalev A.P., ed. *Sovremennoe sostoyanie lesov rossiyskogo Dal'nego Vostoka i perspektivy ikh ispol'zovaniya* [The Current State of Forests of the Russian Far East and the Prospects for Their Use]. Khabarovsk, Dal'NIILKh Publ., 2009. 470 p. (In Russ.)
9. Sokolova G.V. Metod dolgosrochnogo prognoza pokazateley pozharnoy opasnosti v lesakh Priamur'ya na osnove ucheta parametrov atmosferynoy tsirkulyatsii [Long-Term Forecast Method of Fire Danger in the Priamurye Forests by Taking into Account the Parameters of Atmospheric Motion]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2014, no. 5, pp. 50–62.
10. Sokolova G.V., Makogonov S.V. Razrabotka metodiki lesopirologicheskogo prognoza (na primere Dal'nego Vostoka) [Development of the Forest Fire Forecast Method (a Case Study for the Far East)]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Russian Meteorology and Hydrology], 2013, no. 4, pp. 12–18.

11. Solov'ev K.P. *Kedrovo-shirokolistvennyye lesa Dal'nego Vostoka i khozyaystvo v nikh* [Cedar-Broadleaf Forests of the Far East and Farming]. Khabarovsk, Khabar. knizhnoe izdatel'stvo Publ., 1958. 367 p. (In Russ.)

12. Shirokova M.R. Reguliruyushchaya rol' lesa v bassejne Nizhnego Amura [The Regulatory Role of Forest in the Basin of the Lower Amur River]. *Materialy vsesoyuznogo soveshchaniya po vodookhranno-zashchitnoy roli gornyykh lesov, 13–17 avg. 1976 g.* [Proc. All-Union Meeting on the Water Protection Role of Mountain Forests, 13–17 August 1976]. Krasnoyarsk, Inst. Forest SB RAS Publ., 1976, pp. 8–12. (In Russ.)

13. Bartalev S.A., Egorov V.A., Loupian E.A., Khvostikov S.A. A New Locally-Adaptive Classification Method LAGMA for Large-Scale Land Cover Mapping Using Remote-Sensing Data. *Remote Sensing Letters*, 2014, no. 5(1), pp. 55–64.

14. Bonell M. Possible Impacts of Climate Variability and Change on Tropical Forest Hydrology. *Climatic Change*, 1998, vol. 39, iss. 2-3, pp. 215–272.

15. Jenson S.K., Domingue J.O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1988, no. 54(11), pp. 1593–1600.

16. Jones J.A., Post D.A. Seasonal and Successional Streamflow Response to Forest Cutting and Regrowth in the Northwest and Eastern United States. *Water Resources Research*, 2004, vol. 40, iss. 5.

17. *SRTM Data*. Available at: http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3 (accessed 06.06.2016).

18. Swank W.T., Swift L.W. Jr., Douglas J.E. Streamflow Changes Associated with Forest Cutting, Species Conversions, and Natural Disturbances. *Forest Hydrology and Ecology at Coweeta*. Ed. by T. Wayne, D.A. Swank, D.A. Crossley. New York, Springer, 1988, pp. 297–312.

Received on May 18, 2017