

А. Л. Верхотуров¹, Г. В. Соколова², С. А. Погорелов¹

¹ *Вычислительный центр ДВО РАН
ул. Ким Ю Чена, 65, Хабаровск, 680000, Россия*

² *Институт водных и экологических проблем ДВО РАН
ул. Дикопольцева, 56, Хабаровск, 680000, Россия*

andrey@ccfebras.ru, pozhar@ivep.as.khb.ru, pog_vizor@mail.ru

СОВМЕСТНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВОДОСБОРОВ РЕК (НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕГО И НИЖНЕГО АМУРА) *

Одним из важнейших факторов, влияющих на водность рек и окружающую экологическую ситуацию, является лес, который во всем мире становится все более значимым ресурсом в условиях сокращения его площади в результате массовых рубок и пожаров. В связи с этим изучение изменения растительного покрова и его влияние на водный баланс водосборов представляет крайне важную научную задачу. При проведении работ по исследованию гидрологического режима на обширной и зачастую труднодоступной территории, а также ввиду отсутствия достаточной сети гидрологических постов наблюдений основным источником первичной информации могут выступать данные дистанционного зондирования Земли. Они в определенной мере свободны от искажений, которые возможны в различных статистических и полевых материалах лесоустройства. В статье представлены результаты исследований гидрологического режима в бассейне Среднего и Нижнего Амура с использованием данных дистанционного зондирования Земли и наземных гидрометеорологических наблюдений за период с 2000 по 2013 г.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, классификация типов земной поверхности, гидрологический режим, водосбор.

Введение

Изучение лесов на территории Дальнего Востока играет важнейшую роль в формировании климата и состояния окружающей среды региона. Анализ спутниковых данных об изменении лесопокрываемой территории водосбора, совместно с данными наземных сетей наблюдений, позволяет более широко и комплексно анализировать состояние гидрологического режима.

На территории Нижнего Амура детально процент лесистости рассчитывался по состоянию лесов в 1950–1960-х гг. Леса занимали в те годы 70–85 % поверхности, а залесенность отдельных водосборов достигала 90–100 % [1; 2]. При этом данные базировались на полевых материалах лесоустройства, которые усреднялись по выделам, с использованием сете-

* Работы проведены при поддержке Целевой комплексной программы ДВО РАН «Спутниковый мониторинг Дальнего Востока для проведения фундаментальных исследований» и темы РАН «Мониторинг» (госрегистрация № 01.20.0.2.00164).

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. Серия: Информационные технологии. 2016. Т. 14, № 1. С. 5–12.

вых наблюдений по речному стоку и метеорологическим параметрам. Однако далеко не на всех территориях бассейнов рек выполнялись плановые лесоустроительные работы, результаты которых можно было связать с режимом рек, а иных видов наблюдений (например, спутниковых) за состоянием леса на тот момент просто не было. В связи с тем, что за прошедший период произошли существенные изменения растительного покрова (частые лесные пожары, интенсивные рубки и т. п.), очевидна актуальность уточнения показателей лесистости водосборов, которые имеют большое значение при оценке водного режима рек.

Современное состояние

В настоящее время известно множество исследований по оценке влияния изменений залесенности на гидрологический режим рек (см., например, [3–7]). При проведении таких работ на обширной и зачастую труднодоступной территории, к которым можно отнести и Дальний Восток России, в качестве основного источника первичной информации можно использовать данные современных систем дистанционного зондирования Земли. В частности, наборы данных продуктов MODIS, которые позволяют на основе индекса NDVI проводить классификацию типов земной поверхности [8], могут быть использованы для анализа растительного покрова. Наличие архивов таких данных дает возможность проводить ретроспективный анализ, в том числе совместно с данными наземных наблюдений Росгидромета, и получать метеорологические (температура, количество осадков и т. д.) и данные параметров гидрологического режима (уровни и расходы воды).

Материалы и методы исследований

Для исследований были выбраны модельные водосборы таежных рек Бурей, Большая Бира и Амгунь, в бассейне Среднего и Нижнего Амура, где с 1950-х гг. леса наиболее часто подвергались пожарам и рубкам. При изучении динамики покрытой лесом площади водосборов рассматривались следующие типы растительности: темнохвойные вечнозеленые леса, смешанные леса с преобладанием хвойных, смешанные леса с преобладанием лиственных, смешанные леса без преобладания какой-либо лесной формации, редины хвойные листопадные (лиственничные), хвойные вечнозеленые кустарники (стелющиеся леса), лиственные кустарники, кустарниковая тундра. Изменения лесопокрытой площади на каждом водосборе анализировались совместно с динамикой площадей послепожарных гарей (включая вырубки) и водностью реки. Водность реки оценивалась по максимальным уровням воды за период апрель–октябрь каждого года с 2000 по 2013 г. Одновременно анализировался температурно-влажностный режим на водосборе по данным ближайшей метеорологической станции.

При построении актуальных полигонов водосборов рек (рис. 1) применены высотные данные рельефа SRTM3¹ и средства геоинформационной системы ArcGIS. На основе данных по гидрологическим постам [9] с помощью инструмента Hydrology модуля Spatial Analyst toolbox (модель восьминаправленного стока D8 [10]) были выделены водосборы модельных рек.

Выделенные таким образом водосборы рек были рассчитаны в координатах, по которым произведен расчет их площадей в конической равноплощадной проекции Альберса. Полученные данные сопоставимы с данными лесоустройства по указанным объектам за 1950–1960-е гг. [1; 2; 9] (табл. 1).

Расчеты водосборов позволяют анализировать изменения растительности с использованием серии карт, предоставленных Институтом космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) [11]. Карты построены на основе данных прибора MODIS, установленного на спутнике Terra, и метода локальной адаптивной классификации LAGMA [12]. Анализ карт производился с применением спутникового сервиса Vega [13; 14]² за период с 2000 по 2013 г. (рис. 2).

¹ http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/ (дата обращения 09.09.2015).

² В работе использована информация о состоянии растительных экосистем, предоставляемая спутниковым сервисом Vega-Science (<http://sci-vega.ru/>). Поддержка сервиса осуществляется в рамках программы Мониторинг (госрегистрация № 01.20.0.2.00164), выполняющейся в ИКИ РАН.

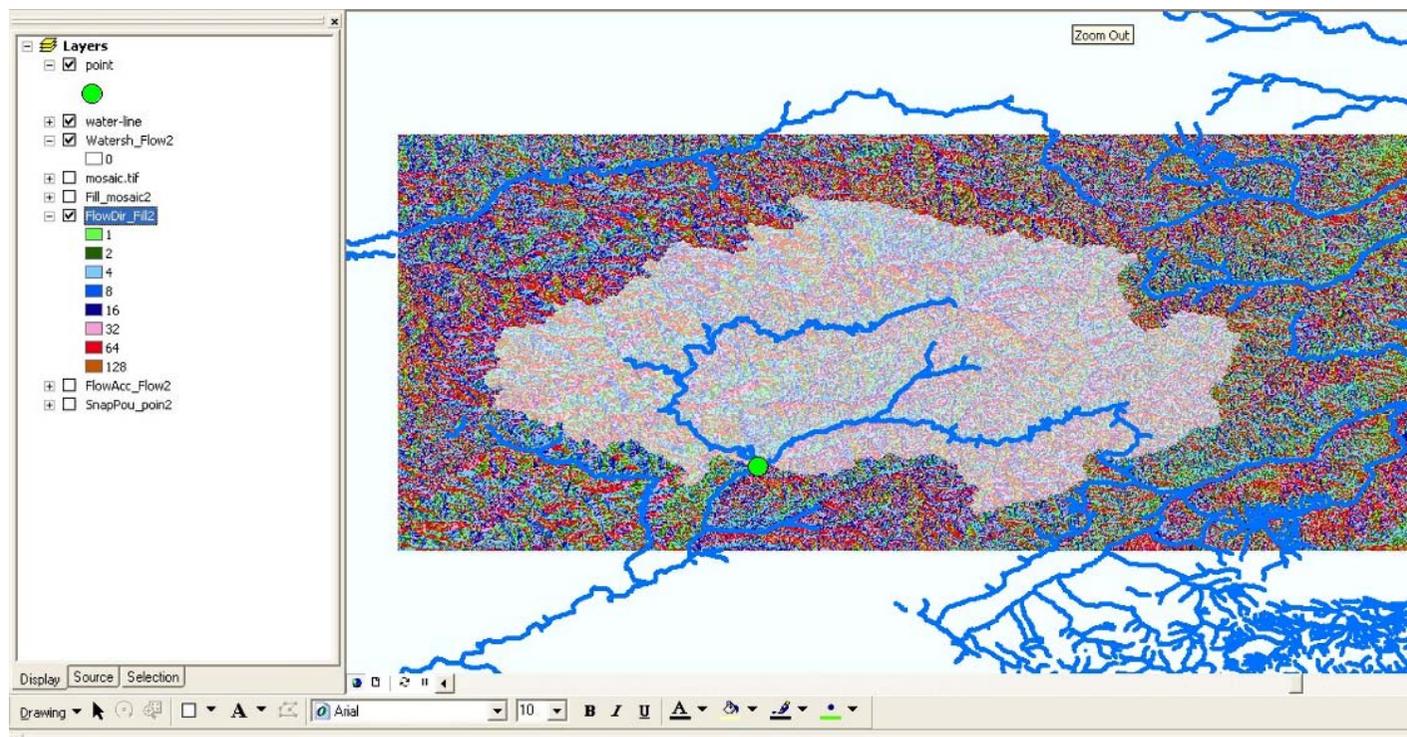


Рис. 1. Экранная форма ArcGIS, инструмент Watershed: расчет водосбора р. Бурея

Таблица 1

Данные расчетов по водосборам

Водосбор	Гидрологический пост	Площадь водосбора, кв. км		Лесистость водосбора, %	
		по данным 1950–1960 гг.	расчетные данные	по данным 1950–1960 гг.	расчетные данные
Амгунь	с. Гуга	41 000	40 636	71	69
Бурея	с. Усть-Ниман	26 500	26 364	87	77
Большая Бира	г. Биробиджан	7 560	7 548	83	87

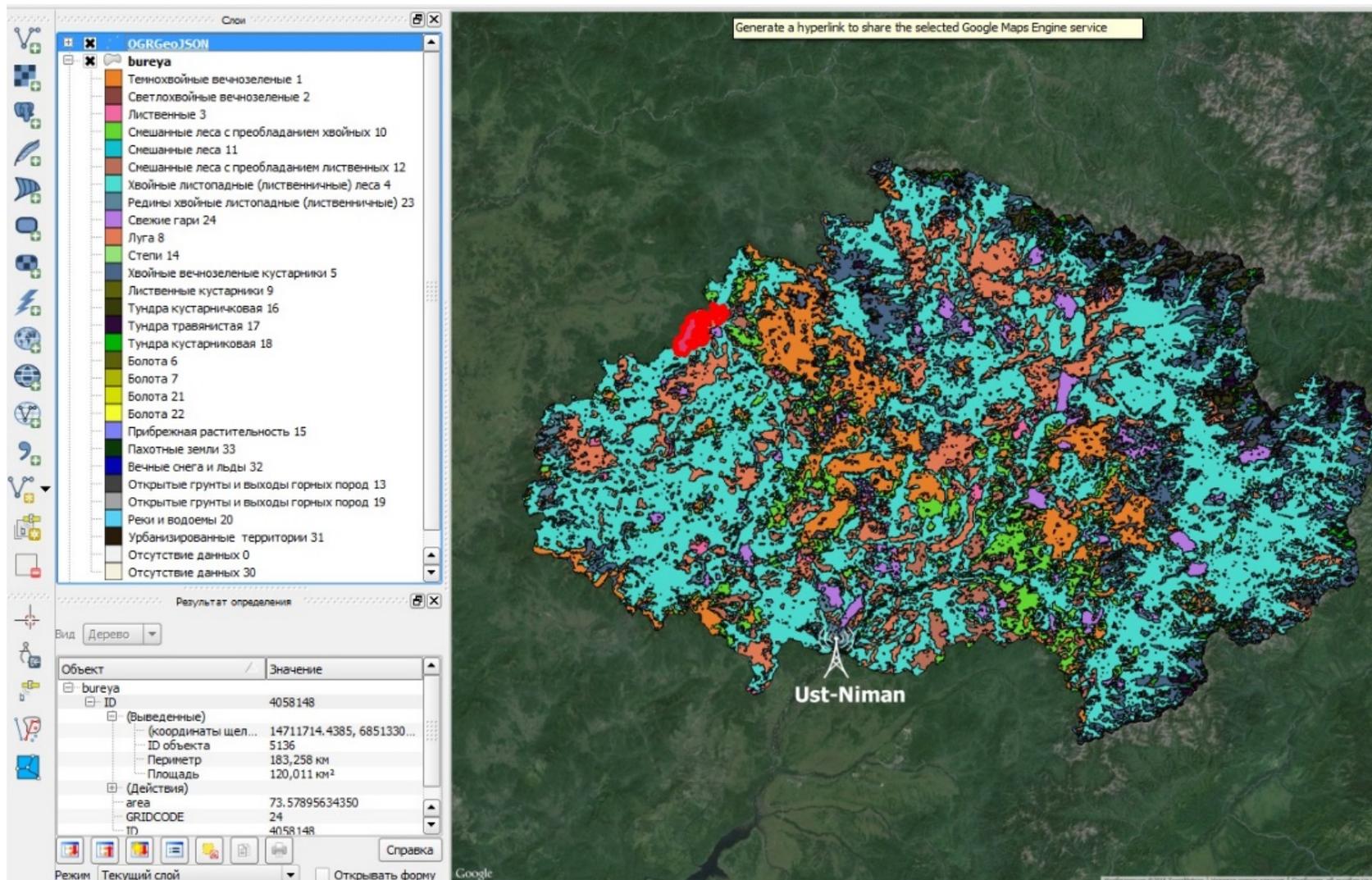
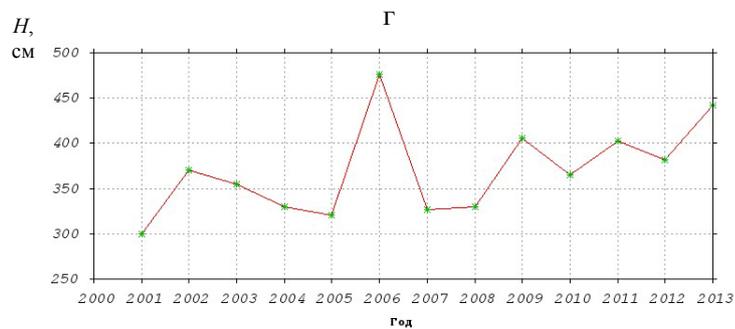
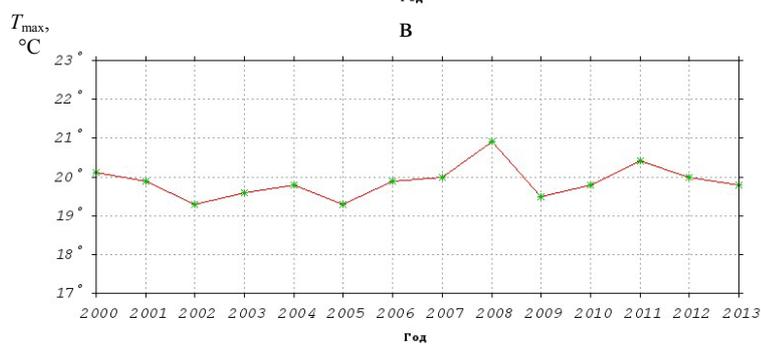
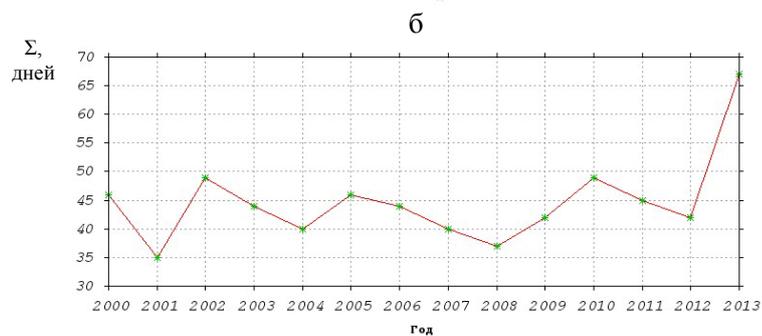
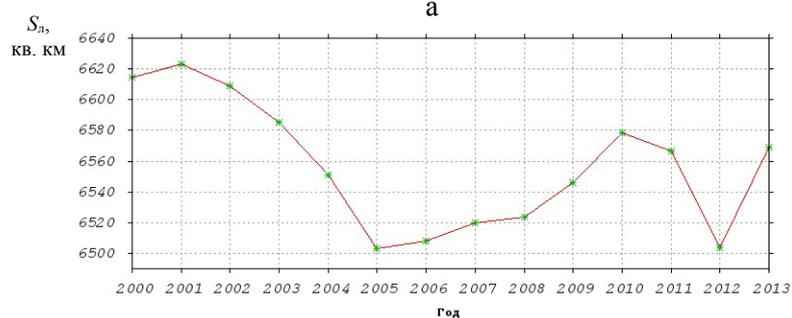
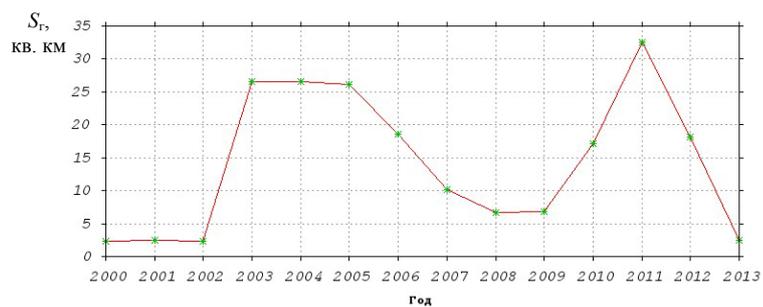


Рис. 2. Тип растительности на водосборе за 2013 г. (на примере р. Бурей)



Д

Рис. 3. Динамика результатов исследований водосбора реки Большая Бира у г. Биробиджан за апрель-октябрь 2000–2013 гг.: а – площадь гарей; б – площадь леса; в – сумма дней с сильными осадками; г – максимальная температуры воздуха; д – максимальный уровень воды

Результаты исследований

По данным Дальневосточного НИИ лесного хозяйства [15], территория Еврейской автономной области имеет наибольшую горимость лесов в Дальневосточном федеральном округе. Очевидно, это должно отразиться на уменьшении лесопокрытой площади и, как следствие, на водности реки Большая Бира, пересекающей эту территорию. Анализ результатов, полученных на основе спутниковых данных [11], и динамики максимальных годовых уровней воды р. Большая Бира у Биробиджана позволяет выполнить объективную оценку взаимодействия этих природно-климатических факторов (рис. 3). Начиная с 2000 г. здесь отмечается положительный тренд увеличения водности реки в связи с уменьшением площади лесов в результате их уничтожения пожарами, которые на Дальнем Востоке на 90 % возникают по вине человека.

Заключение

В рамках проведенных работ выполнены исследования влияния сокращения лесопокрытой площади водосборов рек бассейна Амура (на примере рек Бурея, Большая Бира и Амгунь) в условиях изменчивости климата на водный режим за апрель-октябрь 2000–2013 гг. Анализ распределения площадей лесной растительности и свежих гарей (после пожаров и вырубок) на водосборе, наивысших годовых уровней воды в замыкающем гидростворе и метеоданных позволил сделать следующие выводы.

1. Установлено, что температурно-влажностный режим среды обитания лесной растительности (как один из важных показателей условий) с 1980 г. и в последние 14 лет был благоприятным для роста и развития. Однако, несмотря на обычные условия жизнедеятельности растений, отмечается тенденция уменьшения лесопокрытой площади как следствие уничтожения лесов обширными пожарами, которые, по оценкам специалистов [15], на 90 % возникают по вине человека в Хабаровском крае, Еврейской АО и Амурской области и несанкционированными рубками древостоя. Это подтверждается хронологическими графиками: кривые распределения площадей леса и гарей имеют почти зеркальное отражение на модельных водосборах, а также на большинстве других рассмотренных водосборах бассейна Амура.

2. Бесспорно, что наивысшие за год уровни воды в реках зависят от количества выпавших осадков. В то же время лес существенно уменьшает поверхностный сток дождевой воды в русла таежных рек (в отличие от участков без леса), значительно увеличивая подземный (или грунтовый) сток, питающий ручьи и реки. Поэтому отрицательным трендам лесопокрытой площади модельных водосборов, на которых участки без леса, образовавшиеся после пожаров и рубок, способствуют увеличению общего поверхностного стока, соответствуют положительные тренды наивысших пиков дождевых паводков.

3. В перспективе необходимо создание геоинформационной системы, которая дает дополнительные возможности по обработке, анализу и использованию пространственно-временных локализованных данных об изучаемых объектах (лес, пожары и проч.) и явлениях природы (наводнения, летняя межень и проч.), созданию электронных карт водосборов основных стокоформирующих рек бассейна Амура с синхронными данными о спутниковых и наземных наблюдениях в многолетнем разрезе, чтобы использовать в будущем спутниковый мониторинг поверхности водосборов рек за более длительный временной отрезок.

Список литературы

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1966. Т. 18. Дальний Восток. Вып. 1. Верхний и Средний Амур. 781 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1970. Т. 18. Дальний Восток. Вып. 2. Нижний Амур. 592 с.
3. *Bonell M.* Possible Impacts of Climate Variability and Change on Tropical Forest Hydrology // *Climatic Change.* 1998. Vol. 39, iss. 2–3. P. 215–272.

4. Swank W. T., Swift Jr L. W., Douglas J. E. Streamflow changes associated with forest cutting species conversions and natural disturbances // *Forest Hydrology and Ecology at Coweeta*. New York, Springer, 1988. P. 297–312.

5. 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.

6. Василенко Н. Г. Гидрология рек зоны БАМ: Экспедиционные исследования. СПб.: Нестор-История, 2013. 672 с., ил.

7. Крестовский О. И. Влияние вырубки леса и восстановления лесов на водность рек. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 117 с.

8. Сун Кайшань, Ван Цзунмин, Лю Цинфэн, Лю Дяньвэй, Ермошин В. В., Ганзей С. С., Бай Чжан, Жень Чуньин, Цзэн Лихун, Ду Цзя. Классификация типов земной поверхности бассейна реки Амур по данным временных серий MODIS // *География и природные ресурсы*. 2011. № 1. С. 13–20

9. Государственный водный кадастр. Раздел 1. Поверхностные воды. Серия 2. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1988. Т. 1, вып. 19. Бассейны Амура (без бассейнов Шилки, Аргуни, Уссури, Амазара) и Уды.

10. Jenson S. K., Domingue J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1988. Vol. 54 (11). P. 1593–1600.

11. Барталев С. А., Егоров В. А., Ершов Д. В., Исаев А. С., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Уваров И. А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2011. Т. 8, № 4. С. 285–302.

12. 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. Vol. 5 (1). P. 55–64.

13. Лупян Е. А., Савин И. Ю., Барталев С. А., Толпин 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.

14. Барталев С. А., Ершов Д. В., Лупян Е. А., Толпин В. А. Возможности использования спутникового сервиса ВЕГА для решения различных задач мониторинга наземных экосистем // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2012. Т. 9, № 1. С. 49–56.

15. Грек В. С. Пожароопасная напряженность и состояние окружающей среды на юге Хабаровского края // *Охрана лесов от пожаров в современных условиях: Материалы Международ. науч.-практ. конф. Хабаровск, 2002*. С. 191–194.

Материал поступил в редколлегию 23.09.2015

A. L. Verkhoturov¹, G. V. Sokolova², S. A. Pogorelov¹

¹ *Computing Center of Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences
65 Kim Yo Cheng Str., Khabarovsk, 680000, Russian Federation*

² *Institute of Water and Ecology Problems of Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences
56 Dikopoltsev Str., Khabarovsk, 680000, Russian Federation*

andrey@ccfebras.ru, pozhar@ivep.as.khb.ru, pog_vizor@mail.ru

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)

Forest is the one of the main factors, that influence on water content of the river and on surrounding environmental situation. Worldwide, forest is becoming an increasingly important re-

source in conditions of reducing its area as a result of massive logging and fires. In this regard, the study of changes area forests and its influence on the water balance of watersheds is an important scientific task. When working on the study of the hydrological regime on vast and inaccessible areas, as well in the absence of sufficient network of hydrological observation posts, the main source of primary information can be Earth remote sensing data. They are to some extent free from the distortions that are available in a variety of statistical and field materials of forest management.

The paper presents the results of studies of the hydrological regime in the basin of the Middle and Lower Amur River using remote sensing data and ground-based hydrological and meteorological observations from 2000 to 2013.

Keywords: remote sensing, land cover classification, hydrologic regime, watershed.

References

1. Resursyi poverhnostnyih vod SSSR. Leningrad, Gidrometeorologicheskoe izd-vo, 1966, vol. 18. Dalniy Vostok. Iss. 1. Verhniy i Sredniy Amur, 781 p.
2. Resursyi poverhnostnyih vod SSSR. Leningrad, Gidrometeorologicheskoe izd-vo, 1970, vol. 18. Dalniy Vostok. Iss. 2. Nizhniy Amur. 592 s.
3. Bonell M. Possible Impacts of Climate Variability and Change on Tropical Forest Hydrology. *Climatic Change*, 1998, vol. 39, iss. 2–3, p. 215–272.
4. Swank W. T., Swift Jr L. W., Douglas J. E. Streamflow changes associated with forest cutting species conversions and natural disturbances. *Forest Hydrology and Ecology at Coweeta*. Springer, New York, 1988, p. 297–312.
5. 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.
6. Vasilenko N. G. Gidrologiya rek zonyi BAM: Ekspeditsionnyie issledovaniya. St. Petersburg, Nestor-Istoriya, 2013, 672 p.
7. Krestovskiy O. I. Vliyanie vyirubki lesa i vosstanovleniya lesov na vodnost rek. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1986, 117 p.
8. Sun Kayshan, Van Tszunmin, Lyu Tsinfen, Lyu Dyanvey, Ermoshin V. V., Ganzey S. S., Bay Chzhan, Zhen Chunin, Tszen Lihun, Du Tszya. Klassifikatsiya tipov zemnoy poverhnosti basseyna reki Amur po dannym vremennyih seriy MODIS. *Geografiya i prirodnyie resursyi*, 2011, № 1, p. 13–20.
9. Gosudarstvenniy vodniy kadastr. Razdel 1. Poverhnostnyie vodyi. Seriya 2. Ezhegodnyie dannie o rezhime i resursah poverhnostnyih vod sushi. Obninsk: VNIIGMI-MTsD, 1988. T. 1. Vyip. 19. Basseyni Amura (bez basseynov Shilki, Arguni, Ussuri, Amazara) i Udyi.
10. Jenson S. K., Domingue J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1988, vol. 54 (11), p. 1593–1600.
11. Bartalev S. A., Egorov V. A., Ershov D. V., Isaev A. S., Lupyan E. A., Plotnikov D. E., Uvarov I. A. Sputnikovoe kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii po dannym spektrometra MODIS. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, vol. 8, № 4, p. 285–302.
12. 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, vol. 5 (1), p. 55–64.
13. Lupyan E. A., Savin I. Yu., Bartalev S. A., Tolpin V. A., Balashov I. V., Plotnikov D. E. Sputnikovyy servis monitoringa sostoyaniya rastitelnosti («Vega»). *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, vol. 8, № 1, p. 190–198.
14. Bartalev S. A., Ershov D. V., Lupyan E. A., Tolpin V. A. Vozmozhnosti ispolzovaniya sputnikovogo servisa VEGA dlya resheniya razlichnyih zadach monitoringa nazemnyih ekosistem. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, vol. 9, № 1, p. 49–56.
15. Grek V. S. Pozharoopasnaya napryazhennost i sostoyanie okruzhayushey sredy na yuge Habarovskogo kraya. *Ohrana lesov ot pozharov v sovremennyih usloviyah: materialyi mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Khabarovsk, 27–29 marta 2002 g. Khabarovsk, DalNIILH*, 2002, p. 191–194.