

Многолетний режим влажности почв Волжского бассейна по данным SMAP измерений в L-диапазоне

А.Г. Гранков, А.А. Мильшин, Н.К. Шелобанова

Фрязинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук,

141190 г.Фрязино МО пл. ак. Введенского. д.1, E-mail: amilshin@list.ru

Дано гидрографическое и географическое описание Водного бассейна. Приведены особенности сезонного стока бассейна. На основе архивных глобальных суточных данных L-радиометра проекта SMAP получены карты среднемесячных значений влажности почв Волжского бассейна за период апрель – октябрь 2015-2019 года с пространственным разрешением 0.36°. Выполнен анализ сезонной динамики влажности в слое 0-5 см Волжского бассейна. Средняя влажность максимально в апреле и составляет 0.29 см³/см³. Затем влажность спадает и достигает своего сезонного минимума в августе – 0.2 см³/см³. В сентябре – октябре величина влажности монотонно растет и составляет 0.21 – 0.22 см³/см³. Характер пространственного распределения влажности почв Волжского бассейна определяется гидрологическим режимом Волжско-Камского каскада водохранилищ и меридиональной зональностью.

Ключевые слова: многолетняя влажность почв, Волжский бассейн, дециметровый диапазон.

Long-term regime of soil moisture in the Volga basin according to SMAP measurements in the L-range

A.G. Grankov, A.A. Milshin. N.K. Shelobanova

Fryazino Branch of the Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics, RAS

The hydrographic and geographical description of the Volga basin is given. The features of the seasonal flow of the pool are given. Based on the archive global daily data of the SMAP L-radiometer, maps of the average monthly values of the soil moisture of the Volga basin for the period April – October 2015-2017 Year with a spatial resolution of 0.36° are obtained. The analysis of the seasonal dynamics of humidity in the 0-5 cm layer of the Volga basin was performed. The average soil moisture is maximum in April and is 0.29 cm³/cm³. Then the soil moisture drops and reaches its seasonal minimum in August – 0.20 cm³/cm³. In September - October, the value of soil moisture increases monotonously and is 0.21 – 0.22 cm³/cm³. The nature of the spatial distribution of soil moisture in the Volga basin is determined by the hydrological regime of the Volga-Kama cascade of reservoirs and meridional zonality.

Keywords: long-term soil moisture, Volga basin, decimeter band.

Характеристики Волжского бассейна

Площадь бассейна Волги составляет 1459000 км², что составляет 40% Европейской территории России [1]. Речная система бассейна Волги включает 151 тысячу водотоков длиной более 10 км общей протяжённостью 574 тыс. км. Суммарная площадь водосборов малых рек составляет 45% площади всего бассейна. Река принимает около 200 притоков. За весь период наблюдений до 2010 года годовой сток Волги составил 250 км³. По гидрографическому признаку Волжский бассейн принято делить на три участка: Верхняя Волга – до впадения Оки, Средняя Волга – между устьями Оки и Камы, Нижняя Волга – от Куйбышевского гидроузла до впадения в Каспийское море. В бассейне р. Волги построена крупнейшая система управления речным стоком,

включающая более 200 водохранилищ емкостью более 1 млн. м³ каждое с суммарной полезной емкостью свыше 100 км³ [2]. Бассейн Волги простирается с севера на юг на 1910 км и на 1805 км (в верхней части) – с запада на восток (рисунок 1) [3].

Почвенные условия изменяются от верховьев до низовьев Волги, преобладание подзолистых почв на севере, характерных для таёжной зоны, сменяется бурыми почвами в южных пустынно-степных частях региона. Чернозёмные почвы, характерные для лесостепи, и каштановые почвы полупустынь, практически полностью используются в качестве пахотных земель. Бассейн Волги охватывает несколько природных зон: южно-таёжную, широколиственных лесов, лесостепную, степную, полупустынную и пустынную, что обуславливает большое разнообразие растительности. Наибольшая лесистость отмечается на северо-востоке, в бассейне Камы (около 80%), наименьшая в Астраханской области. В целом лесистость бассейна Волги (около 35%) несколько меньше по сравнению со средней лесистостью для территории России (около 45%). Леса представлены в основном хвойными с примесью берёзы. Сосновые леса встречаются на песчаных и супесчаных почвах практически в бассейнах всех рек. На равнинных водосборах рек Ветлуги и Вятки распространены пихтово-еловые леса. Наибольшей вырубке подвергаются хвойные леса, в связи с этим отмечается дисбаланс между хвойными и лиственными породами, что приводит к изменению химического состава почв и к развитию эрозионных процессов. Граница распространения широколиственных лесов проходит по бассейну Оки на западе и по течению Вятки, Белой и Камы - на востоке. Широколиственные леса переходят в лесостепную зону, которая начинается от верховьев Оки, далее распространяется на Окско-Донскую низменность и затем на южный Урал. Степная растительность характерна для бассейнов рек Средней и Нижней Волги. Бассейны рек Оки и Камы составляют, соответственно, около 20% и 30% площади всего бассейна.

Все реки бассейна Верхней Волги отличаются неравномерностью стока в течение года и характеризуются высоким половодьем, низкой летней и зимней меженью и повышенным стоком в осенний период. От 50 до 90% годового стока проходит весной в период снеготаяния. За весенним половодьем следует низкая летняя межень. Низкий сток летне-осенней межени нередко нарушается дождевыми паводками, значительно повышающими меженный сток. Зимний сток на большинстве рек территории меньше летне-осеннего и составляет 4-15% годового стока. Режим стока рек отличается значительной естественной зарегулированностью. Характер внутригодового распределения стока зависит, главным образом, от климатических условий, определяющих режим температуры воздуха, осадков, испарения. Существенное влияние на внутригодовое распределение стока оказывают факторы подстилающей поверхности, а также величина площади водосбора. Многочисленные озера на территории водосбора перераспределяют сток, уменьшая максимальные расходы и объем весеннего половодья и увеличивая минимальные расходы и сток меженного периода. Влияние болот на внутригодовое распределение стока почти не проявляется.

Озера располагаются, в основном, на северо-западе территории, причем подавляющая их часть расположена в границах Валдайского оледенения. Крупнейшие из них: Волго, Ковжское, Селигер, Белое. Наибольшее количество прудов сосредоточено в центральной и южной частях бассейна.

На территории бассейна создано значительное количество водохранилищ. Крупнейшие из них: Верхневолжское, Вазузское, Яузское, Ивановское, Угличское, Череповецкое и Рыбинское [2].

Для всестороннего изучения системы Волжского бассейна была разработана и функционирует более четверти века экспертная информационная система (ЭИС) REGION [4]. Система дает заключение по десяткам параметров. Но среди этих

параметров нет важного в гидрологическом отношении параметра как объемная влажность в поверхностном слое почвы.

В 70 - 80-е годы прошлого века были разработаны, апробированы и внедрены самолетные СВЧ радиометрические методы определения объемной влажности почв, уровня залегания грунтовых вод, определения влагозапаса в метровом слое почвы и другие характеристики. [5, 6]. Применение этих методов рассмотрим ниже в данной публикации на примере оценки сезонной динамики влажности почв в поверхностном слое (0 – 5) см при измерениях со спутников.

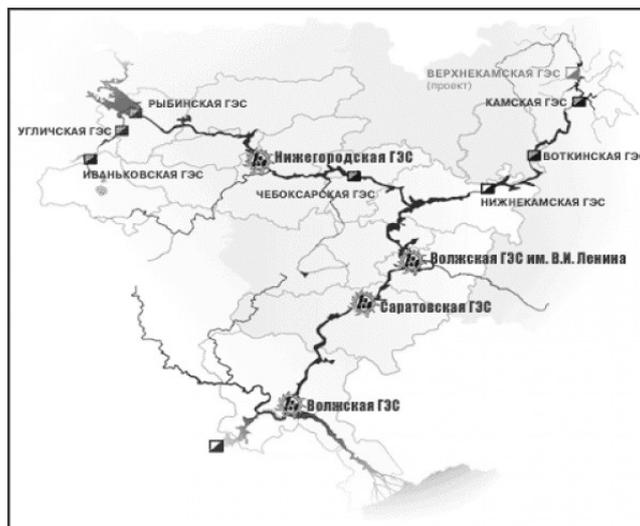


Рис.1. Волжско-Камский каскад водохранилищ

Сезонная динамика влажности почв Волжского бассейна

С момента появления спутниковых сканирующих многоканальных радиометров AMSR-J, AMSR-E, AMSR-2 в начале 20-го века были разработаны методы определения влажности почв с использованием канала 6.9 ГГц (волна 4.35 см) [7].

Для анализа пространственно-временных вариаций радиоизлучения Волжского бассейна в работе [8] были обработаны данные радиометра AMSR-E спутника EOS Aqua за 2005 и за 2010 годы на частоте 6.9 ГГц, каналы 06V, 06H – вертикальная и горизонтальная поляризация принимаемого излучения среды. Исходные данные хранятся в файлах в виде суточных глобальных массивов с разрешением $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ по широте и долготе в NSIDC (National Snow and Ice Data Center) в Боулдере США.

К недостаткам данных радиометра AMSR-E следует отнести малый эффективный слой, в котором формируется излучение о влажности почв – (0-1) см. Применение радиометра L - диапазона позволяет получить значение влажности почв в слое (0-5) см [9].

Исходные данные были получены на сайте NSIDC (National Snow and Ice Data Center, www.nsidc.org). Использовались данные SMAP L3 Radiometer Global Daily 36 km EASE-Grid Soil Moisture, Version 5. Этот продукт влажности почвы уровня 3 (L3) представляет собой совокупность ежедневных оценок глобальных условий земной поверхности, полученных с помощью активно-пассивного микроволнового радиометра (SMAP - the Soil Moisture Active Passive). Данные о влажности почвы L-диапазона SMAP преобразуются в глобальную цилиндрическую масштабируемую земную сетку равной 36 км, версия 2.0 (EASE-Grid 2.0 - Equal-Area Scalable Earth Grid, Version 2.0). Исходные данные хранятся в файлах формата HDF5. Суть обработки заключалась в преобразовании файлов формата HFD в текстовые файлы, например SM051616.01A, на

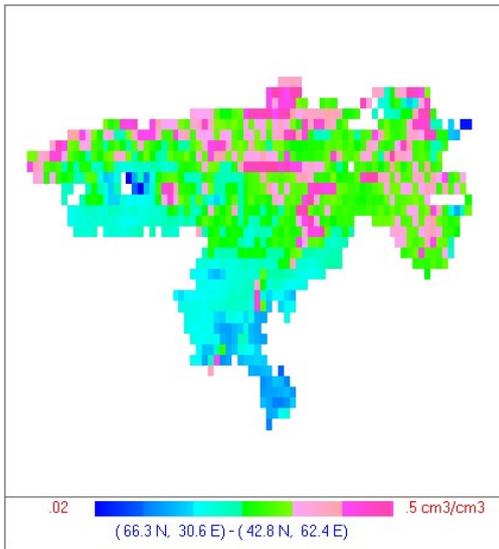
первом этапе [10]. Затем текстовые глобальные файлы обрабатывались на среднемесечном масштабе на втором этапе, и получалось семь файлов за период апрель по октябрь. На третьем этапе из глобальных среднемесечных файлов вырезались данные, относящиеся к Волжскому бассейну. На рисунке 2 представлены карты влажности почв за период с апреля по октябрь месяцы 2015 года, когда среднегодовой сток реки Волга составил 60 км^3 [10]. На четвертом этапе обработке мы получили оценки среднего значения влажности по всей площади бассейна (рисунок 3).

Перейдем к анализу сезонной динамики влажности почв Волжского бассейна. Сравнивая контур гидротехнических сооружений Волжско-Камского каскада водохранилищ (рисунок 1) и контуры с максимальным увлажнением на рисунке 3, мы отмечаем их совпадение. В апреле отмечается наибольшее увлажнение почв, обусловленное таянием снега (рисунок 3 а). Практически вся территория Верхней и Средней Волги имеет влажность выше $0.33 \text{ см}^3/\text{см}^3$. В мае уже наблюдается перераспределение влаги по бассейну – увеличивается площадь с низкой влажностью на юге, в пустынной зоне бассейна и в районе левобережья Нижней Волги. Более половины бассейна реки Волга имеет влажность выше $0.23 - 0.29 \text{ см}^3/\text{см}^3$. В весеннее половодье формируется от 50 до 90% годового стока.

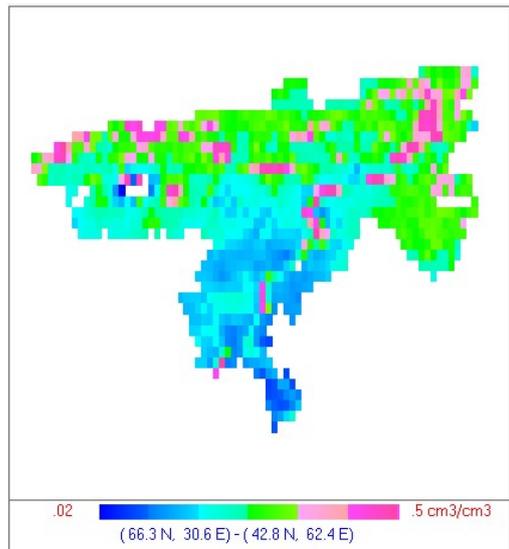
В июне формируется, за исключением юго-восточного сектора левого берега Волги и правого берега Камы, летне-осенняя картина распределения влажности почв. Характерным признаком этой картины является каркас из зон с высоким увлажнением, обусловленный наличием водохранилищ. В июле продолжается наступление засухи с южных районов. Пик засухи отмечается в августе, зона минимального увлажнения смещается севернее слияния рек Волги и Камы. Большая часть бассейна Волги имеет влажность менее $0.2 \text{ см}^3/\text{см}^3$. Так протекает летняя межень, когда сток Волги обусловлен в основном питанием грунтовых вод.

В сентябре зона минимального увлажнения смещается южнее слияния рек Волга и Кама. Влажность увеличивается в целом по бассейну и в наибольшей степени в южной пустынной зоне. Увеличение влажности в осенний период, как правило, связано с осадками. Более половины бассейна имеет влажность в пределах $0.19 - 0.23 \text{ см}^3/\text{см}^3$. В октябре тенденция увеличения влажности почв в южной части сохраняется.

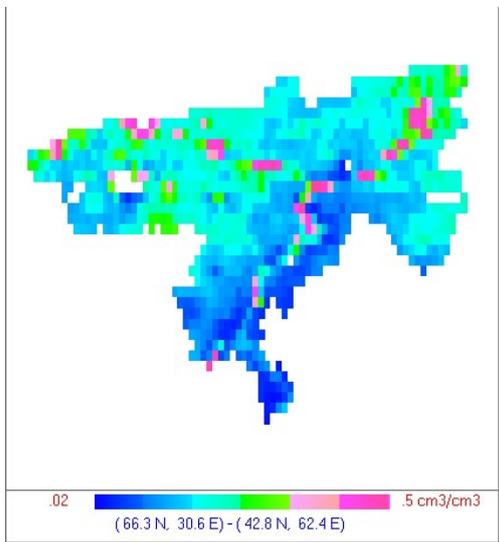
Зависимость сезонного хода среднего по площади значения влажности бассейна иллюстрирует рисунок 3. Область данных ограничена снизу кривой 2019 года до июня месяца – минимальное значение влажности, сверху кривой 2017 года до июля месяца – максимальное значение влажности. Промежуточное положение между этими кривыми занимают кривые 2017 года, 2016 года (среднегодовой сток составил 127 км^3 [10]), 2015 г. (среднегодовой сток составил 60 км^3 [10]). Данных по стоку за 2017 год нет, но косвенно можно оценить по судоходству реки Ока, оно было в 2017 году до города Коломна, в тоже время в засушливые сезоны 2014-2015 годов река Ока была судоходно только до города Муром. Поэтому можно предположить, что величина стока в 2017 году существенно превышает сток в 2016 году.



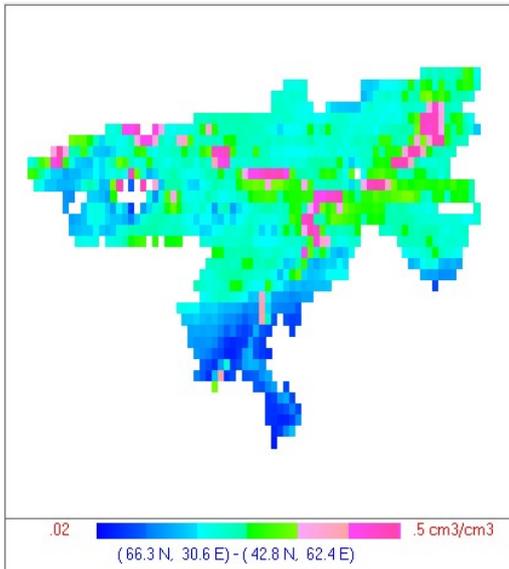
апрель



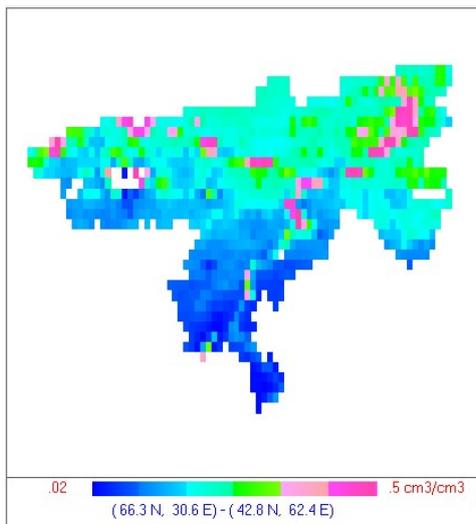
май



Июнь



июль



август

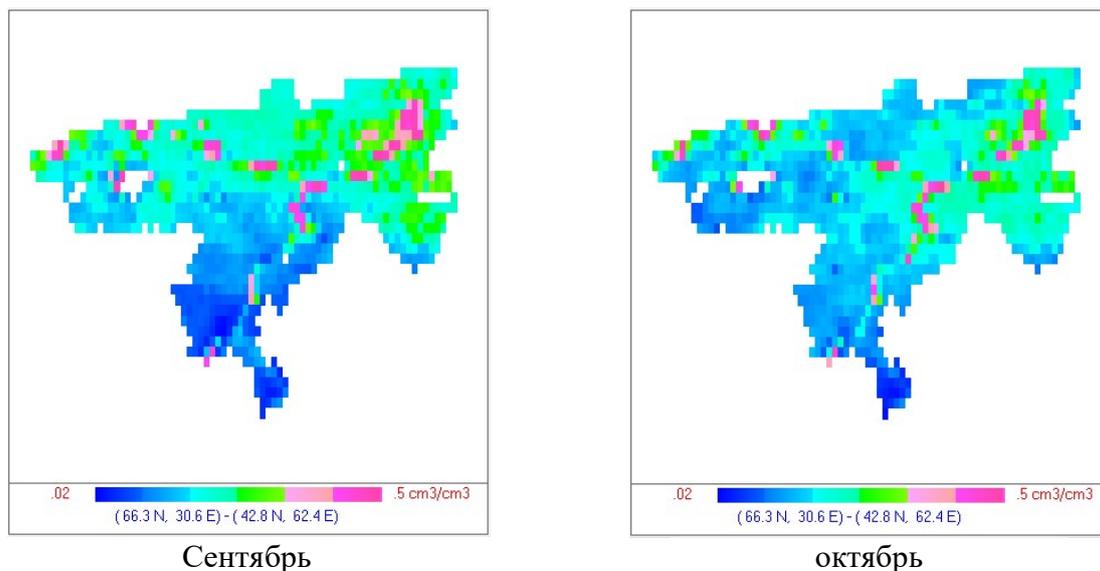


Рис.2. Влажность почв Волжского бассейна по данным SMAP измерений в 2015 году

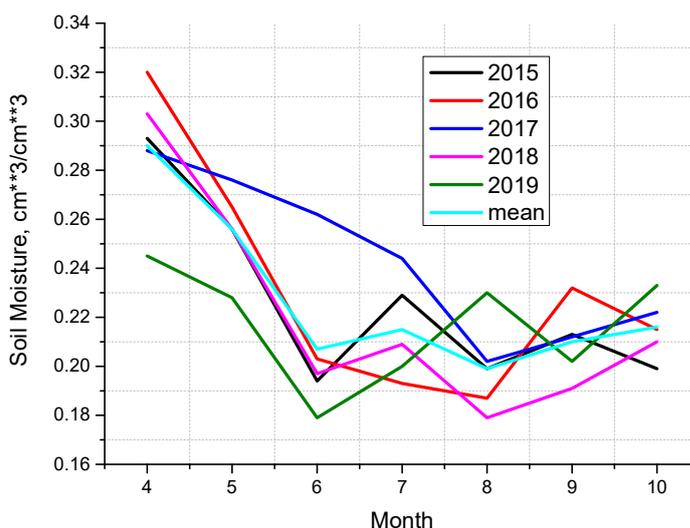


Рис.3. Сезонный ход среднего значения влажности почв Волжского бассейна в 2015-2019 годах

Кривая mean является средней многолетней величиной влажности (2015-2019 гг.) Волжского бассейна. В апреле среднее значение влажности составляет $0.29 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, в мае оно снижается до $0.26 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, в июне продолжает снижаться до $0.21 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, в июле незначительно увеличивается до $0.22 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, в августе достигает минимума $0.2 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, а осенью, в сентябре-октябре увеличивается до $0.21 - 0.22 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$.

На рисунке 4 приведена зависимость многолетнего сезонного хода стока Волги [3]. Минимальное значение стока в период с апреля по октябрь месяц наблюдается в августе – октябре месяце. Сравнивая ход кривой mean на рисунке 3 с кривой на рисунке 4, мы замечаем их подобие. При этом сток запаздывает по отношению к изменению влажности почв на месяц – два месяца. Т.о. по характеру сезонного хода средней влажности Волжского бассейна можно судить о стоке Волги.

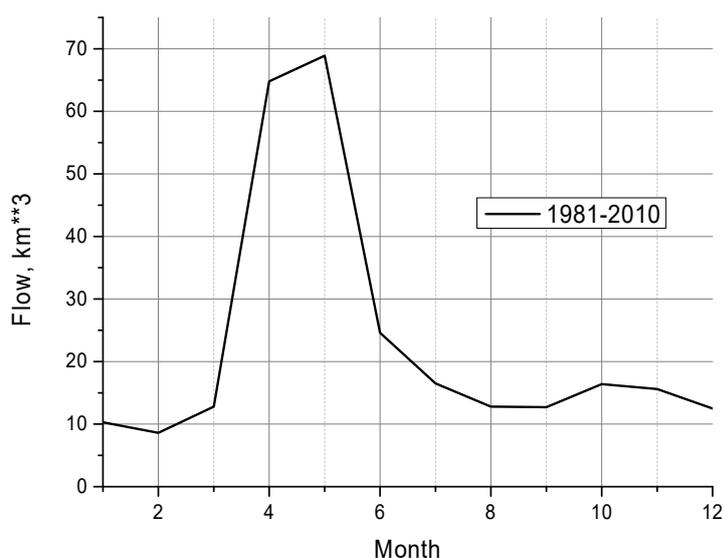


Рис. 4. Многолетний сезонный ход стока Волги

Заключение

Для анализа сезонного хода влажности почв Волжского бассейна использовались архивные спутниковые данные проекта SMAP за 2015-2019 годы.

В работе рассмотрен сезонный ход пространственного распределения влажности почв по территории Волжского бассейна за 2015 год.

Величина многолетнего значения средней влажности составляет в апреле $0.29 \text{ см}^3/\text{см}^3$, в мае - $0.26 \text{ см}^3/\text{см}^3$, в июне - $0.21 \text{ см}^3/\text{см}^3$, в июле - $0.22 \text{ см}^3/\text{см}^3$, в августе - $0.2 \text{ см}^3/\text{см}^3$, в сентябре-октябре - $0.21 \div 0.22 \text{ см}^3/\text{см}^3$.

Между сезонным ходом влажности почв и сезонным ходом суммарного притока воды наблюдается качественная связь – наибольшей влажности в период апрель – июнь соответствует наибольший сток.

Данные о влажности почв Волжского бассейна могли бы быть полезными для экспертной информационной системы REGION.

Мы благодарим NSIDC за предоставленные архивные спутниковые данные по SMAP проекту.

Работа выполнена в рамках бюджетного финансирования.

Литература

1. Кривошей В.А. РЕКА ВОЛГА (проблемы и решения). ООО «Журнал «РТ» - 2015. 90 с. http://npncvp.ru/bookspic/Book_KrivosheyVA_Volga.pdf
2. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна р. Волга. Книга 7. Сводный том СКИОВО р. Волга. Экологическая и водохозяйственная фирма ООО "ВЕД". М.: 2013. -219 с.
3. Волжский бассейн. Устойчивое развитие: опыт, проблемы, перспективы / Под ред. Г.С. Розенберга. - М.: Институт устойчивого развития Общественной палаты Российской Федерации/Центр экологической политики России. - 2011. -104 с.
4. Костина Н.В. Интегральная оценка устойчивого развития территорий Волжского бассейна с применением экспертной информационной системы REGION: диссертация ... доктора Биологических наук: 03.02.08 / Костина Н.В.; [Место защиты: ФГБУН Учреждение Российской академии наук Институт экологии Волжского бассейна РАН], 2017

5. Шутко А.М. СВЧ - радиометрия водной поверхности и почвогрунтов. М.: Наука, - 1986. -190 с.
6. СВЧ - радиометрия земной и водной поверхностей: от теории к практике. Научные редакторы: проф. В.С. Вербя, акад. Ю.В. Гуляев, проф. А.М. Шутко, проф. В.Ф. Крапивин. София – 2014. Академ. из-во проф. Марина Дринова. - 296 с.
7. Гранков А.Г., Мильшин А.А. Современное состояние спутниковых СВЧ - радиометрических средств для исследования взаимодействия океана и атмосферы // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. - 2016. - №3. - С.3-29
8. Гранков А.Г., Мильшин А.А., Шелобанова Н.К., Ямпольская Е.А. Влажностный режим почв Волжского бассейна по данным спутниковых СВЧ радиометрических измерений // Доклады РНТОРЭС им. А.С. Попова. Серия: Проблемы экоинформатики. Выпуск XIII. Москва, 4-6 декабря 2018 г. С.186-190
9. Du J., Kimball J.S., Galantowicz J., Kim S.B., Chan S.K., Reichle R., Jones L.A., Watt J. D.. Assessing global surface water inundation dynamics using combined satellite information from SMAP, AMSR2 and Landsat // Remote Sensing of Environment. – 213. – 2018. P. 1–17
10. Ким Ю.А., Кузьменко С.В. Биологические ресурсы Урало-Каспийского рыбопромыслового района // Московский экономический журнал, 2017. №4. С.1-10.