

ВЛАГОЗАПАС СНЕЖНОГО ПОКРОВА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ ГРАВИМЕТРИИ

Григорьев В.Ю., Телегина А.А.
Институт водных проблем РАН, г. Москва
vadim308g@mail.ru

Сезонный снежный покров является одним из важнейших компонентов водного баланса для Европейской части России (ЕЧР). Однако его оценка на основании наземных наблюдений или данных дистанционного зондирования сопряжена с множеством трудностей. Рассматривается возможность применения данных об изменении бассейновых влагозапасов, включающих подземные и поверхностные воды, а также ее твердую фазу, для оценки содержания воды в снежном покрове (S) речных бассейнов на ЕЧР.

Для определения величины изменения влагозапасов используются результаты эксперимента по спутниковой гравиметрии – Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE). Применительно к данным GRACE ежегодное изменение влагозапасов отдельного бассейна обозначается термином terrestrial water storage change (ΔTWS). Оценка содержания воды в снеге проводится на основе сопоставления данных GRACE по речному бассейну и измеренной величине поверхностного стока.

Используемые данные. Запущенная в 2002 г. система из 2-х спутников GRACE позволяет измерять изменения поля силы тяжести в пространственном масштабе десятков тысяч километров и временном диапазоне одного месяца с ошибкой 1 мм для определения аномалии поля силы тяжести и 1,5 см для TWS [1-3]. Период обращения спутников вокруг Земли составляет примерно 1 ч. 40 мин. Суточный период не обеспечивает достаточно густого покрытия всей поверхности Земли измерениями, поэтому выполняется накопление данных за 30-дневный период. Существуют методические подходы к оценке аномалий поля гравитации по изменению фиксируемых координат и скорости спутников.

Источником информации послужил сайт Jet Propulsion Laboratory [4], где размещены данные расчетной величины полного влагозапаса конкретной территории за вычетом атмосферной влаги (версия RL-05). Ежемесячные данные предоставляются в узлах градусной сетки 1×1. В процессе обработки первичной информации со

спутников GRACE появляются систематические ошибки [1], для их устранения используются поправочные коэффициенты для указанной сетки из архива GLDAS-2 [4].

Для контроля влагозапаса снежного покрова использованы материалы по режимным снегомерным съёмкам Росгидромета по 229 пунктам на ЕЧР (сайт *meteo.ru*). При сравнении данных снегомерной съёмки с результатами дистанционного зондирования, имеющими площадное распределение, возникает ошибки связанные с распространением «точечных измерений» на некоторую площадь. Используя представленные в [5] результаты расчёта статистической структуры снежного покрова на ЕЧР, можно полагать что относительная погрешность распространения измерения одной станции средней величины влагозапаса снежного покрова на площадь 30 000 км² составляет примерно 15-20%.

Методы и первичные результаты. Для любой реки, полностью дренирующий свой бассейн, для любого промежутка времени Δt справедливо следующие уравнения водного баланса (УВБ):

$$W = X - E \pm \Delta TWS,$$

где X – слой осадков за рассматриваемый интервал времени (мм), E – слой испарения (мм), W – слой речного стока (мм), $\pm \Delta TWS$ – изменение бассейновых влагозапасов (мм).

При этом в зимний период, когда разница между твердыми осадками и испарением за Δt составляет изменение влагозапаса в снежном покрове (ΔS), при отсутствии водоотдачи из снежного покрова справедливо: $W = \Delta S - \Delta TWS$.

Существуют три основных центра обработки первичной информации со спутников GRACE: Center for Space Research (CSR), Jet Propulsion Laboratory (JPL) и GeoForschungs Zentrum Potsdam (GFZ), их результаты использовались в данной работе. Также отдельно для каждого узла сетки рассчитывались средние значения TWS по информации из трёх центров. Кроме того, в качестве исходных использовались данные всех четырех типов, дополнительно откорректированные с помощью поправочных коэффициентов из архива GLDAS-2 [4] и среднее из них. Таким образом, для каждого узла градусной сетки было получено 8 рядов данных за 2002-2011 гг. со значениями TWS : три неоткорректированных ряда из различных источников (CSR, JPL и GFZ), три ряда с учетом поправочных коэффициентов GLDAS и два, соответствующих их средним значениям.

Для определения степени связи ΔTWS и ΔS была проведена интерполяция описанных выше данных GRACE по четырем ближайшим узлам градусной сетки в участки проведения снегомерных съёмок. За ноябрь – апрель были получены совместные ряды TWS и влагозапаса в снежном покрове для 208 пунктов проведения снегомерной съёмки на территории ЕЧР, и посчитаны коэффициенты корреляции (табл.1).

В табл. 1 представлены коэффициенты корреляции (r) между измеренными влагозапасами и TWS, полученные по указанным 8-ми вариантам с усреднением по 208 пунктам.

Таблица 1 – Коэффициенты корреляции между измеренными влагозапасами и TWS

Центр обработки данных GRACE	Коэффициент корреляции для неоткорректированных данных GRACE	Коэффициент корреляции для откорректированных данных GRACE
CSR	0.49	0.35
JPL	0.53	0.32
JFZ	0.5	0.32
среднее	0.38	0.29

Наиболее тесная связь запасов воды в снежном покрове и общих бассейновых влагозапасов наблюдается при использовании неоткорректированных данных JPL. Для данных CSR и JFZ без учета поправочных коэффициентов значения коэффициента корреляции r ниже и отличаются незначительно. Использование откорректированных данных привело к ухудшению результатов в точках в среднем на 0,1. Следует заметить, что влияние поправочных коэффициентов на средние значения влагозапасов для водосборов площадью порядка десятков тысяч квадратных километров практически отсутствует, кроме того, коэффициенты постоянны во времени.

Географические факторы связи между наземными измерениями влагозапасов снега и общими влагозапасами по данным GRACE. Для дальнейшего анализа были выбраны данные JPL, которым соответствует наибольший коэффициент корреляции. На их основе можно судить об особенностях пространственного распределения TWS по территории ЕЧР. Для иллюстрации особенностей временного хода бассейновых влагозапасов в различных природных зонах были сопоставлены два временных ряда TWS, соответствующие

щие характерным точкам, расположенным на территории бассейнов Нижней Волги и Печоры (рис. 1).

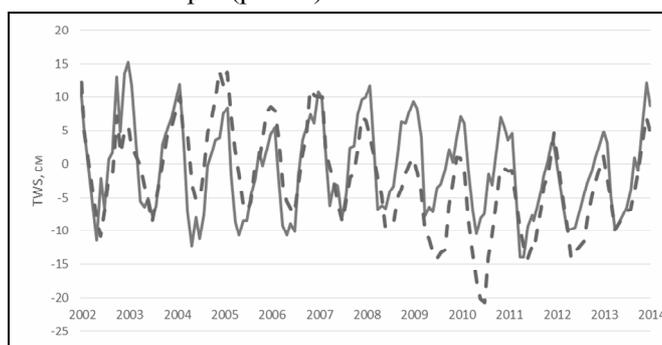


Рис. 1 – Совместный ход TWS в районе Нижней Волги (пунктиром) и Печоры (сплошная линия)

Как следует из рис. 1, сезонная и межгодовая изменчивость TWS в бассейне Нижней Волги превосходят соответствующую в районе Печоры. В многолетнем плане это хорошо согласуется с распределением C_v для среднегодовых осадков и испарения [6].

Для разных лет величина TWS на момент начала снегонакопления различна. Однако из-за низкого временного разрешения данных достаточно точно определить дату начала снегонакопления и соответственно величину TWS невозможно. Попытка учесть влияние предзимнего увлажнения территории, вычтя из значений TWS за ноябрь-апрель, значение TWS в октябре (как характеристику предзимнего увлажнения) к росту коэффициента корреляции не привела. Данная проблема является дополнительным источником погрешности при определении связи между бассейновыми влагозапасами и влагозапасами снежного покрова. Для зоны избыточного увлажнения, к которой относится бассейн Печоры, с устойчивым сезонным ходом TWS это не столь существенно, как для засушливой зоны, в нашем случае – бассейна Нижней Волги.

Помимо климатических причин, особенности сезонного хода TWS в бассейне Нижней Волги могут быть обусловлены изменением объёма воды в Саратовском и Волгоградском водохранилищах. Пространственное разрешение данных GRACE не позволяет отдельно оценить изменение величины бассейновых влагозапасов, связанное со сработкой/наполнением водохранилищ, при этом, не учитывая изменений, связанных с общим изменением увлажнённо-

сти бассейна. Это так же является одним из факторов, обуславливающих невысокое r для данного района.

Небольшие величины r (0,25-0,5) на северо-западе ЕЧР при относительно устойчивом росте S в течение зимы, вероятно, объясняются большим количеством озёр на данной территории, изменение объема воды в которых и играет главную роль в динамике TWS [6]. Наибольшие же значения r на северо-востоке обусловлены несколькими причинами. К ним относятся устойчивая зима с максимальной для ЕЧР средней мощностью снежного покрова, относительно малая мощность зоны аэрации, которая обуславливает небольшой диапазон колебания уровня грунтовых вод, а также средняя озёрность (2-3%) и небольшая многолетняя изменчивость W , X и E [6, 7].

Оценка содержания воды в снеге по данным о бассейновых влагозапасах и речном стоке. В зимний период, когда разница между твердыми осадками и испарением составляет изменение влагозапаса в снежном покрове, при отсутствии водоотдачи из него, содержание воды в снежном покрове может быть рассчитано как:

$$S_i = S_{i-1} + (TWS_i - TWS_{i-1}) + (W_i + W_{i-1})/2, \quad (1)$$

где S_i и S_{i-1} запас воды в снежном покрове за текущий и предшествующий месяц, TWS_i и TWS_{i-1} – бассейновый влагозапасы, W_i и W_{i-1} – речной сток.

Поскольку измерения TWS для ЕЧР относятся приблизительно к середине месяца, а исходные данные по расходам среднемесячные, то речной сток с территории бассейна считался как средний за два смежных месяца.

Формула (1) не учитывает возможность пополнения подземных вод за счёт водоотдачи из снежного покрова. На приведенном ниже рис. 2 заметно систематическое превышение рассчитанных значений S над измеренными, связанное вероятно с этой причиной. Зачастую объем потерь талого стока на пополнение подземных вод сопоставим с максимальными запасами воды в снеге (бассейн рек Дона, Оки).

Выводы. В настоящей работе исследована возможность применения данных GRACE при оценке общих бассейновых влагозапасов для получения информации о влагозапасе снежного покрова. Результаты позволили сформулировать следующие выводы.

1. Для согласованности TWS и S выбор центра обработки данных (CSR, JPL, GFZ) не играет большой роли. При этом поправоч-

ные коэффициенты для данных GRACE, полученные по данным архивам GLDAS, в большинстве случаев снижают величину коэффициента корреляции между общими бассейновыми влагозапасами и влагозапасом снежного покрова.

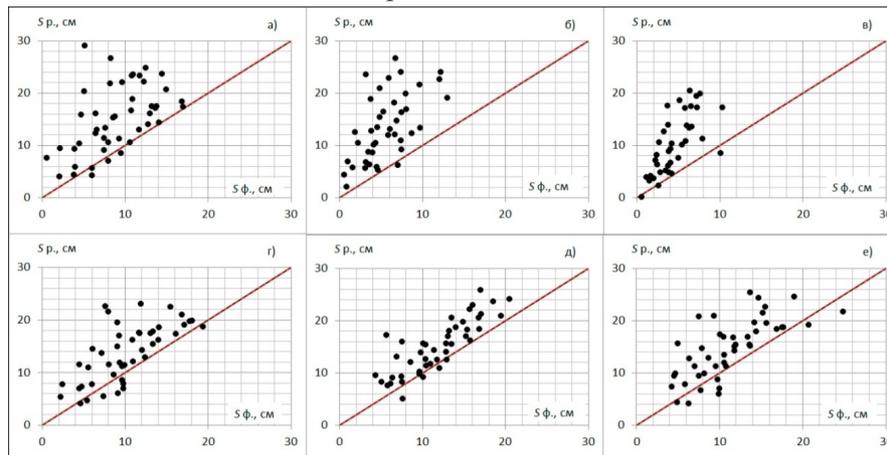


Рис. 2– Связь рассчитанных S_p и фактических $S_ф$ значений запаса воды в снежном покрове (см): а) р. Вятка – г. Вятские Поляны; б) р. Ока – г. Муром; в) р. Дон – ст. Раздорская; г) р. Северная Двина – с. Абрамково; д) р. Печора – с. Оксино; е) р. Мезень – д. Малонисогорская (прямая – линия равных значений между наблюдаемыми и рассчитанными значениями S)

2. Характер пространственно-временной изменчивости TWS согласуется с прочими членами водного баланса.

3. При отсутствии оттепелей наблюдается тесная связь величин TWS и S в течение отдельных зим, а в течение более длительного периода, при отсутствии значимой многолетней изменчивости TWS .

4. Применение данных GRACE ограничено, в основном, их низким разрешением и необходимостью дополнительного использования данных по другим элементам водного баланса.

Литература

1. Булычёв А.А., Джамалов Р.Г., Сидоров Р.В. Применение данных спутниковой системы измерения поля гравитации Земли (GRACE) для изучения и оценки гидролого-гидрогеологических характеристик крупных речных бассейнов //Водные ресурсы, 2012, Т. 39. № 5. С. 476-484.

2. Bridget R. Scanlon, Clark R. Wilson. GRACE Hydrological esti-

mates for small basins: Evaluating processing approaches on the High Plains Aquifer, USA// Water Resources Research, 2010, №46.

3. https://media.gfz-potsdam.de/gfz/sec12/GSTM_2003.PDF

4. <http://grace.jpl.nasa.gov/data/gracemonthlymassgridsland/>

5. Кислов А.В., Китаев Л.М., Константинов И.С. Статистическая структура крупномасштабных особенностей полей снежного покрова//Метеорология и Гидрология, 2001, №8, С 98-104

6. Жаков С.И. Общие закономерности режима тепла и увлажнения на территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 231 с.

7. Национальный Атлас России. Т. 2. Природа. Экология. – М.: Роскартография, 2007. 495 с.

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ РАСЧЕТОВ И ПРОГНОЗОВ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДНОГО БАЛАНСА РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ, ВЫЗВАННАЯ КЛИМАТИЧЕСКИМ ШУМОМ⁷

Гусев Е.М.¹, Насонова О.Н.¹, Ковалев Е.Э.¹, Семенов В.А.²

¹Институт водных проблем РАН, г. Москва,

²Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва,

²Институт географии РАН, г. Москва

sowaso@yandex.ru

Тематика, связанная с долговременными оценками влияния климатических изменений на геофизические, экологические и другие процессы, определяющие многолетние изменения природных условий в разных частях планеты, стала особенно актуальной в настоящее время, что объясняется отмеченными во многих публикациях, в том числе отчетах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), возможными изменениями климата. Увеличилось также число работ, посвященных влиянию указанных изменений на формирование гидрологического цикла суши. Вместе с тем, полученные в разных работах оценки гидрологических последствий, вызванных изменением климата, характеризуются значительным разбросом – неопределенностью, обусловленной как субъективными, так объективными причинами.

⁷Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-05-00027).