

УДК 551.4.012:504.45

**КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНОГО БАЛАНСА
ЛОКАЛЬНЫХ РЕЧНЫХ ГЕОСИСТЕМ**¹Луговской А.М., ²Купрюшин А.П.¹ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК),
Москва, e-mail: alug1961@yandex.ru;²МОАУ ВО «Воронежский институт экономики и социального управления»,
Воронеж, e-mail: lkap62@list.ru

Перспективным направлением исследований гидроклиматических характеристик является осуществление балансового подхода с выявлением новой характеристики – депонированной части водного баланса в пределах геосистем с учетом приходно-расходной части. Геоэкологический подход с использованием экономических категорий формирования баланса в исследовании гидрологических характеристик, расчетной базы для определения стока, методов статистического и картографического анализа позволяет использовать полученные результаты для уточнения водного баланса в пределах геосистем с учетом приходной, расходной и депонированной частей. В приходную часть отнесены все виды осадков в пределы локальной речной геосистемы извне в жидком агрегатном и твердом агрегатном состоянии, а также объем поступающих грунтовых вод. Депонированная часть в локальных речных геосистемах позволяет конкретизировать определение обводненности территории в меженный период для нужд природопользования. Расходная часть безусловно складывается не только из стока, но и возвратных и безвозвратных потерь. Возвратные потери складываются из возвращаемых обратно в аэрозольно-капельном виде, а в зимний период в твердой фазе (туман, роса, ожеледь, наледь и т.п.), отражая динамическое равновесие в системе подстилающая поверхность и приземный слой воздуха. К их числу отнесен объем воды, испарившейся в жидкой фазе и с твердофазной поверхности, объем воды, испарившейся непосредственно с поверхности растений и потерянный в результате транспирации, гуттации и потоотделения животными. Для оценки водного баланса необходим учет депонированной воды в прудах для обеспечения полива, располагающихся на первичных звеньях гидрографической сети – малых водосборах рассчитан для природных зон Среднего и Нижнего Дона. Расчет необходимого объема потенциального забора воды по определенному размеру водопотребления, который может быть отнесен в расходную часть водного баланса.

Ключевые слова: оценка водного баланса, приход, расход, возвратные потери и депонированная часть; сток локальных речных систем

**CONCEPTUAL MODEL OF FORMATION OF WATER BALANCE
OF LOCAL RIVER GEOSYSTEMS**¹Lugovskoy A.M., ²Kupryushin A.P.¹Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), Moscow, e-mail: alug1961@yandex.ru;²Voronezh Institute of Economics and Social Management, Voronezh, e-mail: lkap62@list.ru

A promising area of research of hydro-climatic characteristics is the implementation of the balance approach with the identification of a new characteristic—the deposited part of the water balance within geosystems, taking into account the input and output part. The geoecological approach with the use of economic categories of balance formation in the study of hydrological characteristics, the calculation base for the determination of flow, statistical and cartographic analysis methods, allows to use the results to clarify the water balance within geosystems, taking into account the arrival, flow and deposited parts. The input part includes all types of precipitation within the local river geosystem from outside in the liquid aggregate and solid aggregate state, as well as the volume of incoming groundwater. The deposited part in local river geosystems allows to concretize definition of water content of the territory in the inter-war period for needs as nature management. The expenditure part certainly consists not only of runoff, but also of returnable and irretrievable losses. Return losses are composed of returned back in aerosol-drip form, and in the winter in the solid phase (fog, dew, ozheled, ice, etc.).p.), reflecting the dynamic equilibrium in the system of the underlying surface and the surface layer of air. These include the volume of water evaporated in the liquid phase and from the solid-phase surface, the volume of water evaporated directly from the surface of plants and lost as a result of transpiration, guttation and sweating by animals. To assess the water balance, it is necessary to take into account the deposited water in the ponds for irrigation, located on the primary links of the hydrographic network—small catchments are calculated for the natural zones of the Middle and Lower don. Calculation of the required volume of potential water intake for a certain amount of water consumption, which can be attributed to the expenditure part of the water balance.

Keywords: assessment of water balance, arrival, flow, return losses and deposited part; flow of local river systems

Функционирование геосистем с максимально возможным эффективным самовосстановлением в условиях сочетания техногенных факторов на фоне воздействия естественных, воспроизводство природных

ресурсов в условиях изменения водного баланса как важнейшего связующего звена зависит как от условий хозяйствования в современных изменившихся формах собственности, а следовательно, и управления

ресурсопользованием, так и от изменения наметившейся региональной динамики климатических условий в результате глобального изменения климата [1, 2]. Перспективным направлением исследований изменений гидроклиматических характеристик на разных уровнях организации геосистем является осуществление балансового подхода с выявлением принципиально новой характеристики – депонированной части водного баланса в пределах геосистем с учетом приходно-расчетной части.

Исследование геосистем глобально, регионального и локального уровней подразумевает ретроспективный анализ факторов формирования стоковых процессов как в течение годичного цикла, так и в разные промежутки времени, причем особый интерес с точки зрения интенсивности процессов формирования геосистем представляет исследование депонированной части в структуре водного баланса в пределах геосистем с учетом приходно-расчетной части.

Материалы и методы исследования

Подобные исследование невозможны без проведения начального этапа – выявления типологии речных геосистем на базе классификации интенсивности водосборных территорий. В то же время исследование стоковых процессов позволяет проследить динамику формирования рельефа геосистемы, а выявление депонированной части в водном балансе позволяет выявить функциональные особенности формирования подавляющего большинства компонентов внутри геосистемы, в частности почвенных характеристик, состава и продуктивности биоценозов, определить предельные границы хозяйственного использования компонентов геосистемы [3, 4].

Геоэкологический подход с использованием экономических категорий формирования баланса в исследовании гидрологических характеристик, предлагаемый нами, а также использование расчетной базы для определения стока, методов статистического и картографического анализа позволяет использовать полученные результаты по следующим направлениям:

– определение критериев оценки структуры и функционирования гидрологического комплекса факторов геосистемы под влиянием комплекса антропогенных и естественных условий на основе разделения приходной, расходной и депозитарной частей водного баланса;

– выявление диапазона колебания стока, особенно в ранневесенний период, позволяет определить количественную составляющую депозитарной части, определяющий потенциал функционирования геосистемы в последующие периоды с уменьшением количества приходной части водного баланса в летне-осенний период года;

– на локальном уровне водосбора в первичной гидрологической сети выявить ключевые процессы формирования регионального водного баланса;

– усовершенствование схемы мониторинга на основе функциональной системы районирования геосистем выявленных на основе бассейнового подхода и местоположения в структуре водного баланса с учетом хозяйственной деятельности для планирования рациональных гидротехнических мероприятий для создания оптимальных путей стока и депонирования водных ресурсов территории для максимизации биологической продуктивности геосистем;

– анализ проводимой хозяйственной деятельности с перспективным планированием в условиях региональных гидрологических изменений глобального теплового и водного балансов.

Результаты исследования и их обсуждение

На наш взгляд, надо не только усовершенствовать существующие методики, а кардинально пересмотреть структуру водного баланса территорий в зависимости от морфолого-генетических уровней гео-гидросистем. Предлагаемый нами подход в оценке не только приходно-расходной части, но и депонированной части, особенно на уровне локальных речных геосистем, позволяет конкретизировать задачу определения обводненности территории в межливневый период для нужд как природопользования, так и в функционировании естественных геосистем в целом.

В приходную часть нами отнесены все виды осадков, поступающие в пределы локальной речной геосистемы извне в жидком агрегатном и твердом агрегатном состоянии, а также объем поступающих грунтовых вод.

Расходная часть, безусловно, складывается не только из стока, но и возвратных и безвозвратных потерь. Безвозвратные потери вод – это важный элемент водного баланса, на наш взгляд, незаслуженно оставшийся за пределами внимания исследователей, состоит из объема воды, расхо-

дуемой на фотолиз в процессе фотосинтеза, и объема воды, выносимой в составе биомассы и в составе воздушных масс за пределы локальных речных геосистем.

Возвратные потери складываются из возвращаемых обратно в аэрозольно-капельном виде, а в зимний период в твердой фазе (туман, роса, ожеледь, наледь и т.п.), отражая динамическое равновесие в системе подстилающая поверхность и приземный слой воздуха. К их числу нами отнесен объем воды, испарившейся в жидкой фазе и с твердофазной поверхности, объем воды, испарившейся непосредственно с поверхности растений и потерянный в результате транспирации, гуттации и потоотделения животными. На первый взгляд, можно игнорировать эту, казалось бы, незначительную величину. Однако, вспоминая о влиянии транспирации влажных тропических лесов на характеристику воздушных масс, и учитывая взаимоотношение в локальных речных геосистемах других природных зонах с низким коэффициентом увлажнения, где растительность многократно увеличивает площадь испаряющей подстилающей поверхности, следует признать необходимым исследование вклада этой статьи баланса в общий водный баланс территории. Сток неравномерен по времени и складывается из плоскостного, склонового поверхностного и вертикального подземного стока первичной гидрографической сети постоянных водотоков и временных водотоков.

Кроме этого, важнейшим направлением является выделение в структуре водного баланса депонентной части, исследование которой позволяет существенно уточнить распределение объема вод не только в пространстве, но и во временном диапазоне. Именно эта статья водного баланса определяет эмерджентное свойство водных геосистем, позволяющее сохранять динамическое равновесие в засушливые периоды и определяющее характер стоковых процессов в целом. В пределах локальной речной геосистемы воды депонируются на поверхности в осенне-зимний период объем в виде запасов снега, наледи и почвенного льда. В составе почвы объем почвенной воды складывается из химически связанной с комплексом гуминовых кислот воды и объемом пленочной, газофазной, капиллярной и гравитационной, перемещающейся под действием силы тяжести воды.

Депонирование почвенной влаги в момент весеннего снеготаяния складывается из следующих источников – воды осенних

осадков, из снежной растаявшей во время оттепелей влаги и оставшейся к началу осеннего периода воды. Объемы депонирования почвенной воды в осенний и в зимний период составляют соотношение примерно 2:1, но большое значение играет территориальное распределение с учетом условий природных зон – так влажность почвы на западе Центрально-Черноземного района составляет 180 мм, а на восток на Тамбовской равнине снижается до 100 мм.

С юга на север объем депонированной воды уменьшается со 100 мм в почвенном слое мощностью в 1 м до 140 мм за счет водопотерь в период зимних оттепелей, хотя показатель объема депонированной воды очень неустойчивый показатель, коэффициент вариации, меняющийся по годам, уменьшается в северном (от 0,5 до 0,6) и западном направлении (до 0,35). При этом за счет большого количества бессточных углублений разного происхождения отмечается отклонение от зональных закономерностей с юг на север с 55 до 20 мм на сток талых вод, а поверхностное депонирование составляет 6 мм. В период снеготаяния часть талых вод пополняют расходную часть баланса за счет увеличения испаряемости, средняя величина которой по многолетним данным равна 8 мм с интенсивностью 0,35 мм за сутки при однородных метеоусловиях на обширной территории района. Расчет расходной части баланса талых вод, уменьшающийся с 70 до 50 мм на севере, будет составлять разницу между объемом просочившихся депонированных в почву талых вод и талых вод, задержанных на поверхности, с потерями на испарение за период половодья. На пространственное распределение будет оказывать существенное влияние фактор рельефа, механический состав почвы и материнских пород, наличие гуминовых кислот, которые коагулируют воду, увеличивая объем депонированной воды. Рельеф будет определять скорость подземного стока и, следовательно, время для процесса депонирования с почвогрунт. На подветренных западных склонах Среднерусской возвышенности суммарные значения стока талых вод составляют до 45 мм в среднем, а на востоке достигают больших значений – до 70 мм. Механический состав определяет соотношение между гравитационной и капиллярной формами влаги. Однако расчеты депонирования талых вод в почве будут варьировать в зависимости от глубины промерзания грунта и его влажности, а также продолжительности самого периода снеготаяния.

В контактном слое в системе «почва – атмосфера» воды депонируются в газообразном виде, ритмически переходя в капельножидкую фазу и обратно в соответствии с суточным ритмом колебания температур. На поверхности депонирование происходит в отрицательных формах микрорельефа, образуя «депресссионные» воды. К их числу следует отнести не только водоемы различного происхождения – озера, болота и искусственные водохранилища, но и многочисленные микродепрессии, образующие колоссальные площади испарения. К числу депонированных вод следует отнести объем воды в составе наземной и подземной фитомассы, а также наземной и почвенной зоомассы. Учитывая тот факт, что организм состоит из воды более чем на 70%, следует вести расчет депонированной воды из биомассы геосистемы.

Для определения структуры водного баланса необходим учет в геосистемах бассейнов рек связей и дифференцировки компонентов вертикальной стратификации наземного, подземного и надземного ярусов. Надземный ярус, являясь контактной зоной надземного с подземным ярусом, депонирует воды с разной степенью длительности с последующим водосбором в водотоки и водохранилища различного типа с преобладанием относительно горизонтального перемещения. В подземном ярусе при относительной однородности движение идет как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях, образуя подземный сток. Вертикально перемещающиеся вода будут составлять депонированные, а горизонтально перемещающиеся будут увеличивать расходную часть водного баланса территории. В атмосферном ярусе вода перемещается в вертикально-горизонтальном направлении и будет увеличивать приходную статью водного баланса остальных структурных компонентов геосистемы. Иерархия водных геосистем тесно связана с процессами, происходящими в них, которые могут быть представлены в иерархической системе водного баланса: глобальный круговорот воды – региональное перераспределение водного баланса – формирование стока на уровне локальных речных геосистем. Исходя из этого, учет процессов первичной гидрографической сети в пределах локальных речных геосистем принципиально важен для расчета не только регионального перераспределения водного баланса, но и для расчета глобальных процессов формирования гидросферы. В част-

ности, учитывая статью безвозвратных потерь в биологических процессах локальных речных геосистем, рассчитываемую исходя из образования объема биомассы, можно предположительно рассчитать объем ювенальных вод, образуемых в процессе поддержания гомеостаза гидросферы на глобальном уровне. Следует оговориться, что при расчете глобального водного баланса следует учитывать влияние антропогенного фактора в диссоциации вод и безвозвратные потери воды в составе шлейфа атмосферы в околоземном пространстве при движении планеты.

Главной задачей в процессе антропогенного водохозяйственного природопользования является расчет необходимого объема потенциального забора воды по определенному размеру водопотребления, который может быть отнесен в расходную часть водного баланса и может быть рассчитан по формуле

$$V_{np} = N_{op} s,$$

где V_{np} – объем проектируемого потенциального забора воды (m^3); N_{op} – норма для орошения ($m^3/га$); s – площадь земель для орошения (га).

Исходя из проведенных нами оценок норм водозабора в зависимости от природно-климатических условий различных природных зон и соотношенных с ранее проведенными исследованиями [5, 6] для зоны широколиственных и смешанных лесов для орошения 100 га вполне достаточен водосбор с площади 2 км², тогда как в лесостепной зоне его площадь водосбора увеличивается в диапазоне 2,5–6 км², а южные районы степной зоны должны иметь водосбор до 30 км². Специфика орографических факторов территории исследования определила детерминирование сравнительно малых водотоков, водосборная площадь которых составляет десять и менее км² (их объем от общей площади равен 82%). Зональная принадлежность территории будет определять вариабельность водного баланса: лесостепная зона имеет средний показатель густоты речной сети для малых рек (10 и менее км) равный 0,25 км/км² (максимум 0,6–1,0 км/км² в пределах Среднерусской возвышенности), степная же зона по этому показателю отстает вдвое (менее 0,12 км/км²) [7, 8]. Депонированная в водохранилищах вода с малых первичных водосборов необходима для водного баланса, хотя они и расположенных весьма неравномерно по территории [9, 10].

Поэтому нами предполагается соотносить пруды пропорционально их отнесению к рангу гидрологической сети, в зависимости от местоположения, размера и площади водосбора – чем выше ранг звена в гидрологической сети, тем больше объема воды в пруду (площадь зеркала пруда становится больше в среднем на 6–7 га на 1 м его глубины). Наши расчеты показывают, что между площадью зеркала пруда и его объемом в лесостепной и степной природных зонах существует тесная зависимость с высоким коэффициентом корреляции ($r > 0,8$).

Заключение

Таким образом, исходя из проведенного нами анализа эффективности природопользования для использования местного стока для оптимального водозабора и решения проблем орошения в сельском хозяйстве исследуемого региона можно сделать вывод о том, что выполняемые нормативные гидрологические расчеты по СНиПу зачастую не отвечают требованиям актуальным потребностям водохозяйственно-природопользования, с одной стороны, и охранной и рациональным использованием ресурсов в вододефицитных районах с неустойчивым типом выпадения осадков. При этом создание антропогенных водохранилищ для депонирования воды при динамическом сохранении приходной и расходной ее частей повышает устойчивость системы и позволяет наращивать объем производства первичной биологической продуктивности с заметным объемом роста продуктивности сельскохозяйственных растений.

Изложенные обстоятельства наглядно демонстрируют актуальность и практическую значимость перспективных исследований механизма формирования водного баланса с учетом режима стока, и его депонирование в целях экономически эффективного использования в сельском хозяйстве и осуществлении мероприятий по охране природы. Проведенные нами исследования на уровне локальных речных геосистем на примере бассейна Верхнего и Среднего Дона, позволяют уточнить методологический подход в расчете водного баланса территории различного уровня с учетом многочисленных разнообразных физико-химических и биологических процессов, что является возможным только с позиций системного подхода исследования разноразмерных систем.

Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-010-00203 «Эффективное импортозамещение и рациональное природопользование как основа экономико-экологической безопасности».

Список литературы / References

1. Кочуров Б.В. Баланс экологии и хозяйства // Земля и вселенная. 1995. № 4. С. 39–44.
2. Межова Л.А., Потапова И.С., Пожидаева Ю.В., Луговской А.М. Теоретический анализ критериев оценки качества жизни населения // Пятое Семеновские чтения: наследие П.П. Семенова-Тянь-Шанского и современная наука: материалы международной научно-практической конференции и 1-й встречи пользователей gvSIG в России. 2012. С. 97–107.
3. Mezghova L.A., Potapova I.S., Pozhidaeva Yu.V., Lugovskoy A.M. Theoretical analysis of criteria for assessing the quality of life of the population // Fifth Semenov readings: legacy of P.P. Semenov-Chan-Shansky and modern science: materials of the international scientific and practical conference and the 1st meeting of gvSIG users in Russia. 2012. P. 97–107 (in Russian).
4. Луговской А.М., Плисецкий Е.Л., Бортникова Г.А. Маргинальные территории: оценка и направления использования ресурсного потенциала // География в школе. 2017. № 7. С. 11–17.
5. Lugovskoy A.M., Plisetsky E.L., Bortnikova G.A. Marginal territories: assessment and directions of use of resource potential // Geografiya v shkole. 2017. № 7. P. 11–17 (in Russian).
6. Анисимов О.А., Борзенкова И.И., Жильцова Е.Л., Захарова О.К., Кокорев В.А., Ренева С.А., Стрельченко Ю.Г. Гидрометеорологические условия Волжского региона и современные изменения климата // Метеорология и гидрология. 2011. № 5. С. 33–42.
7. Anisimov O.A., Borzenkova I.I., Zhiltsova E. L., Zakharova O.K., Kokorev V.A., Reneva S.A., Strelchenko Yu.G. Hydrometeorological conditions of the Volga region and current climate changes. Russian Meteorology and Hydrology. 2011. V. 36. № 5. С. 307–314. DOI: 10.3103/S1068373911050049.
8. Купрюшин А.П., Рязанцев В.К. Местный сток и экологические проблемы (на примере бассейна Верхнего и Среднего Дона). Воронеж: ВГПУ, 2005. 228 с.
9. Kurushin A.P., Ryazantsev V.K. Local runoff and environmental problems (for example, the basin of the Upper and the Middle don). Voronezh: VGPU, 2005. 228 p. (in Russian).
10. Рязанцев В.К., Шевченко А.Н. Проблемы исследования географических закономерностей гидрологических явлений. Липецк: Изд. пед. инст., 1992. 118 с.
11. Ryazantsev V.K., Shevchenko A.N. Problems of research of geographical regularities of hydrological phenomena. Lipetsk: Izd. ped. inst., 1992. 118 p. (in Russian).
12. Исмайллов Г.Х., Мурашenkova Н.В. Цикличность многолетних колебаний годового и сезонного стока бассейна Верхнего Дона // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018: материалы международной научно-практической конференции. Севастополь: СевГУ, 2018. С. 494–498.
13. Ismayylov G.H., Murashenkova N.V. Cyclicity of long-term fluctuations of annual and seasonal runoff of the Upper don basin // Ecological, industrial and energy security-2018: proceedings of the international scientific and practical conference. Sevastopol: Sevgi, 2018. P. 494–498 (in Russian).
14. Исмайллов Г.Х., Мурашenkova Н.В. Пространственно-временные закономерности изменчивости и взаимосвязи ЭВБ половодья и межени в бассейне реки Волги в XX веке // Современные проблемы стохастической гидрологии и регулирования стока: труды Всероссийской научной конферен-

ции, посвященной памяти выдающегося ученого-гидролога профессора А.В. Рождественского. М., 2012. С. 354–363.

Ismayylov G.H., Murashenkova N.V. Spatio-temporal regularities of variability and interrelation of EVB of high water and low water in the Volga river basin in the XX century // Modern problems of stochastic hydrology and flow regulation: proceedings of the all-Russian scientific conference dedicated to the memory of the outstanding scientist-hydrologist Professor A.V. Rozhdestvensky. М., 2012. P. 354–363 (in Russian).

9. Каюкова Е.П. Изучение и оценка подземного стока малых рек на примере бассейна р. Бодрак (юго-западный Крым) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2015. № 2. С. 130–151.

Kayukova E.P. Study and assessment of the underground flow of small rivers on the example of the Bodrak river basin (South-Western Crimea) // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 7. Geologiya. Geografiya. 2015. № 2. P. 130–151 (in Russian).

10. Яковлев П.И. Оценка подземного притока Верхней Волги гидрометрическими и гидрохимическими методами на участке реки от истока до г. Твери // Вода и экология: проблемы и решения. 2012. № 2–3. С. 149–172.

Yakovlev P.I. Assessment of the underground inflow of the Upper Volga by hydrometric and hydrochemical methods on the river section from the source to Tver // Voda i ekologiya: problemy i resheniya. 2012. № 2–3. P. 149–172 (in Russian).