

27. **Zapf-Gilje S.O.** Russell and D.S. Marvinic R. Concentration of Impurities During Melting Snow Made From Secondary Sewage Effluent // Water Science and Technology. 1986. № 18. С. 151-156.

28. **Cragin J.H., Colbeck S.C., Hewitt A.D.** Elution of ions in Melting snow. Chromatographic versus Metamorphic mechanisms. 1993.

29. **Mc Coll R.H.S.** Self-purification of small freshwater streams: Phosphate, nitrate, and ammonia removal. // New Zeal. J. Mar. Freshw. Res. 1974. Т. 8, № 2. С. 375-388.

30. **Marce R., Armengol J.** Modeling nutrient in-stream processes at the watershed scale using Nutrient Spiralling metrics // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2009. № 13. С. 953-967.

The material was received at the editorial office  
12.10.2017

#### Information about the authors

**Yasinsky Nikolaj Sergeevich**, post graduate student of the chair Meteorology and climatology RGAU-MAA named after С.А. Timiryazev. 125550, Moscow, Timiryazevskaya, d.49.; tel.: 8(977)6473160, e-mail: jasen.y@mail.ru

**Datsenko Yuriy Sergeevich**, doctor of geographic sciences, associate professor of the chair Hydrology of land, MSU named after M.V. Lomonosov; 119991, Moscow, GSP-1, Leninskie gory, MSU, d. 1, Main building, Sector «А», tel.: 8(495)9391533, e-mail: yuri0548@mail.ru

УДК 502/504:551.49

#### З.К. ИОФИН, Г.В. ВОЗОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вологодский государственный технический университет, г. Вологда, Российская Федерация»

### ОЦЕНКА ПОДЗЕМНОГО ВОДООБМЕНА В БАССЕЙНАХ РЕК

*Предпринята попытка оценки величины подземного водообмена между соседними бассейнами рек. Подземный водообмен включен М.А. Великановым в уравнение водного баланса и с момента появления этого уравнения величину подземного водообмена в водном балансе никто не анализировал. Подземный водообмен осуществляется в зоне активного водообмена, который определяется глубиной базиса эрозии регионального водотока. В гидрологии принят постулат о том, что водосборный бассейн какой-либо реки состоит из поверхностного и подземного водообменов. Однако, благодаря гидрогеологическим особенностям, в общем случае поверхностный и подземный водосборы не совпадают. Но так как определение границы подземного водосбора осуществить практически очень сложно, то за величину речного бассейна принимается только поверхностный водосбор. Несовпадение поверхностного и подземного водосборов наблюдается у малых рек и рек, у которых из-за геологических условий происходит активный водообмен между бассейнами. Величина водообмена с увеличением площади водосбора убывает, поэтому для достаточно больших речных бассейнов можно считать, что подземный водообмен приближается к нулю. Подземное питание реки пополняется из зоны дренирования руслом реки. В случае водообмена с соседним бассейном подземное питание реки будет возрастать на величину дренируемого водообмена и по сравнению с зональной величиной подземный сток в реку будет увеличен. В данной статье авторами исследуется уравнение водного баланса, предложенное М.А. Великановым. Такое представление уравнения водного баланса отличает М.А. Великанова от других авторов. Для поставленной цели, используя расчеты по линейно-корреляционной модели, выполнена ориентировочная оценка средней величины подземного водообмена для бассейнов рек Вологодской области, Восточной Кубы, Италии.*

*Зона активного водообмена, поверхностный и подземный водообмен, линейно-корреляционная модель, слой инфильтрации, слой впитывания в почву, уравнение водного баланса, водосборные площади поверхностного и подземного стоков.*

**Введение.** Среди существующих уравнений водного баланса выделяются по своей структуре две группы: уравнение, предло-

женное М.А. Великановым (1), и уравнения ряда авторов, не включающих слой подземного водообмена. Наиболее обоснованной струк-

турой второго направления является уравнение, представленное А.Н. Бефани (2):

$$P = Y + E + U \pm d \quad (1)$$

$$P = Y + E + U_{n+1} \quad (2)$$

Эти уравнения не находили применения в практике гидрологических расчетов из-за отсутствия методик определения величины инфильтрации и величины подземного водообмена при отсутствии режимных гидрогеологических наблюдений. Кроме этого, структура приведенных двух уравнений отличается друг от друга. Располагая одними и теми же параметрами уравнений, они отличаются параметром  $d$  – величиной поверхностного и подземного водообмена между речными бассейнами. Учитывая достаточно хорошо выраженные водораздельные линии рассматриваемых водосборов рек, обсудим только процесс подземного водообмена. Водообмен между речными бассейнами будет зависеть от того, на каком расстоянии будут находиться водоразделы поверхностных и подземных вод в горизонтальной плоскости. Это расстояние непостоянно во времени и может быть очень большим в зависимости от гидрогеологического строения рассматриваемой территории. В связи с этим подземный приток – отток в конкретный речной бассейн может быть, соответственно, положительным и отрицательным, что и отражено в уравнении М.А. Великанова. В настоящей статье освещено среднесуточное положение между поверхностным и подземным водосборами, так же, как и среднесуточное значение водообмена.

Поверхностный водосбор каждой реки отделяется от водосбора соседней реки водоразделом, проходящим по наиболее высоким точкам земной поверхности, расположенным между водосборами соседних рек. В общем случае, как уже говорилось, поверхностный и подземный водосборы рек не совпадают. Однако, в силу больших затруднений в определении границы подземного водосбора часто во всех расчетах и при анализе явления стока за величину бассейна принимают только поверхностный водосбор и вследствие этого не делают различия между терминами «речной бассейн» и «речной водосбор». Ошибки, возникающие в результате условного отождествления размеров бассейна и поверхностного водосбора, могут оказаться существенными только для малых рек и для

рек, протекающих в геологических условиях, обеспечивающих хороший водообмен между бассейнами соседних рек, например, районы распространения карста. Для малых бассейнов ошибки могут оказаться велики потому, что те добавочные площади, которые в связи с несовпадением поверхностного и подземного водоразделов нужно прибавить или отнять от общей площади бассейна, в процентном отношении будут более значительными, чем для больших бассейнов.

Считается, что зона активного водообмена – это верхняя часть гидрогеологического разреза, включающая грунтовые воды и верхние горизонты артезианских вод, участвующих в водообмене с атмосферой и питании речных вод. С другой стороны, отмеченное участие не исключает перетекания подземных вод из одного речного бассейна в другой, что ставит под сомнение установленные границы водосборов рек по топографии поверхности земли. Выполним попытку количественного определения величины подземных вод, участвующих в зоне активного водообмена между соседними водосборами.

**Материалы и методы исследования.** Для оценки существования величины подземного водообмена обратимся к материалам наблюдений на речных бассейнах, расположенных в разных климатических зонах как России, так и за ее пределами.

В работе для этой цели использованы материалы наблюдений по 46 водосборам рек, расположенных на территории Вологодской области, по 22 водосборам Восточной Кубы, по 6 водосборам рек Италии.

В качестве исследуемых параметров, которые определяют величину подземного водообмена, по нашему мнению, являются фильтрационные и инфильтрационные свойства почв, зависящие от слоя впитывания как характеристики аккумулирующей емкости влаги на водосборе и водоудерживающей способности почв. Данные по впитыванию получены нами ранее [3]. Инфильтрационный слой мы рассчитали благодаря линейно-корреляционной модели [2]. Для оценки величины подземного водообмена ограничимся рассмотрением слоя впитывания и инфильтрации, сформированных в течение года за многолетний период. Ниже приведены краткие характеристики материалов, использованных в работе.

**Водосборы восточной Кубы.** Все в этой части исследования использованы

данные гидрологических и метеорологических наблюдений на 22 водосборах рек с площадями водосборов от 22,5 км<sup>2</sup> до 1060 км<sup>2</sup>. В работе использованы наблюдения с 324 метеостанций. Характерной особенностью рек этого региона является небольшая длина водотоков и, соответственно, сравнительно небольшие площади водосборов этих рек. Если иметь в виду, что длина и площадь водосбора рек связаны между собой, а также связаны с глубиной вреза русла реки, то следует ожидать сравнительно небольшого подземного питания рек. Однако это не повсеместно на рассматриваемой территории. В этом повинно преобладание карбонатных пород в зоне активного водообмена.

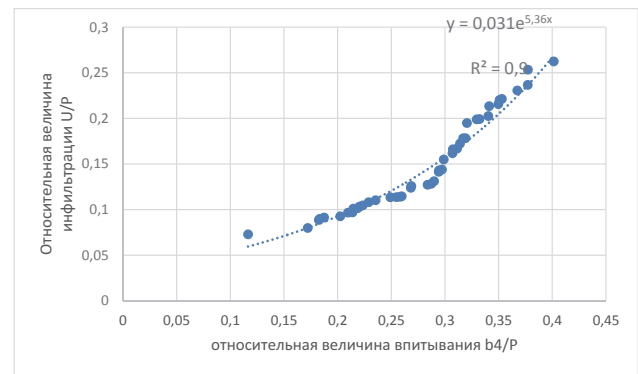
**Италия.** В распоряжении авторов имеются данные только по шести рекам, шести водосборам Италии, благодаря итальянскому гидрологу Annamaria de Girolamo [4,5], любезно предоставившей данные наблюдений. Эти данные по среднегодовому стоку рек и сумме атмосферных осадков для каждого водосбора приводятся здесь для возможности получения представления о водно-балансовых параметрах одной из зон Италии, расположенной на острове Сардиния.

**Вологодская область.** Для нашего исследования использованы материалы наблюдений по 46 водомерным постам. Для получения водно-балансовых параметров обработано еще больше наблюдений, однако часть данных из числа обработанных не принята. Это связано с большими площадями водосборов и весьма трудоемким процессом определения геоморфологического фактора  $\Phi$ .

**Методы исследования.** В работе [3] показано, что слой инфильтрации определяется слоем впитывания. График зависимости относительного слоя инфильтрации  $U/P$  от относительного слоя впитывания  $b_4/P$  представлен на рисунке 1. График построен по методу наименьших прямоугольников, или равно обеспеченных значений, исследуемых величин. Этот подход был разработан Г.А. Алексеевым [4,5] и в нем – определение параметров искомой корреляционной линии связи выполняется из условия её наилучшего приближения к наблюдаемым точкам, как по ординатам, так и по абсциссам.

Экстраполяция представленной зависимости на рисунке 1 в область нулевого значения относительного впитывания  $b_4/P$  позволила определить отрезок на оси ординат, от-

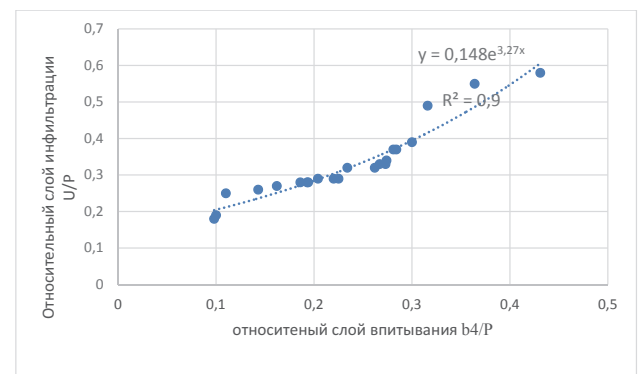
ражающий некоторое значение слоя инфильтрации  $U/P$  при нулевом значении  $b_4/P$ .



**Рис. 1. График зависимости относительного слоя инфильтрации  $U/P$  от относительного слоя впитывания  $b_4/P$  для рек Вологодской области**

Из логических соображений понятно, что при нулевом значении относительного впитывания  $b_4/P$  инфильтрация существовать не может. Тогда, с другой стороны, отрезок на оси ординат, отражающий слой инфильтрации, говорит о том, что инфильтрация все-таки существует. Но эта инфильтрация образована не просачиванием влаги сквозь зону аэрации, а, по нашему мнению, эта величина, сформированная подземными водами зоны активного водообмена, и именно она отражает не что иное, как обмен влагой подземным путем между бассейнами.

Аналогично графику для рек территории Вологодской области приведем график зависимости слоя относительной инфильтрации  $U/P$  от относительного слоя впитывания  $b_4/P$ , но для других климатических зон. График для рек Восточной Кубы, приведен на рисунке 2.



**Рис. 2. График зависимости равнообеспеченных величин относительного слоя инфильтрации  $U/P$  от относительного слоя впитывания  $b_4/P$ , реки Восточной Кубы**

Корреляционный график зависимости  $U/P = f(b_4/P)$  для рек Италии приведен на рисунке 3. Экстраполяция линий связи на построенных графиках в область нулевого значения  $b_4/P$  позволила определить отрезок  $U/P$  на оси ординат при нулевом значении  $b_4/P$ , который, как мы предполагаем, является подземным водообменом.

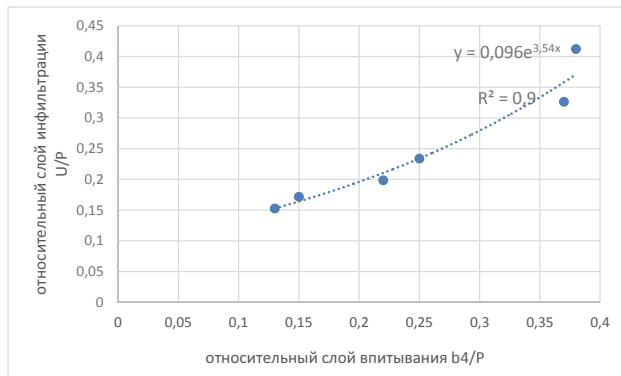


Рис. 3. График зависимости равнообеспеченных величин относительного слоя инфильтрации  $U/P$  от относительного слоя впитывания  $b_4/P$ , реки Италии

**Результаты и обсуждение.** По нашему мнению, попытки поиска слоя стока, участвующего в процессе подземного водообмена, привели к некоторым предварительным результатам. Слои подземного водообмена получены среднесезонными, с усреднением притока и оттока из конкретного бассейна. Так средний параметр подземного водообмена, полученный нами, составляет для водосборов рек Вологодской области  $d = 0,031 \frac{U}{P}$  мм, для рек Восточной Кубы  $d = 0,148 \frac{U}{P}$  мм, для рек Италии  $d = 0,096 \frac{U}{P}$  мм. Если умножить эти величины на слой атмосферных осадков, мы получим часть слоя инфильтрации, участвующего в подземном водообмене.

Тогда для бассейнов рек Вологодской области при  $U/P = 0,031$  и  $P = 600$  мм получим  $U = 18$  мм, что составляет 20% от общего слоя инфильтрации.

Для бассейнов рек Восточной Кубы  $U/P = 0,148$ ,  $P = 1590$  мм получим  $U = 235$  мм, или 63% от общего слоя инфильтрации.

Для бассейнов рек Италии  $U/P = 0,096$ ,  $P = 710$  мм слой стока, участвующего в подземном водообмене составит 68 мм, или 39%.

Судя по полученным результатам, подземный водообмен на территории Во-

логодской области затруднен в связи с гидрогеологическими особенностями территории, также имеет значение почвенный состав местности. В Вологодской области преобладают дерново-подзолистые почвы на морене, озерно-ледниковых отложениях. В то же время часть территории располагается на покровных отложениях (большая часть восточной территории области), которые обладают сравнительно хорошей водопроницаемостью в связи с присущей им вертикальной структурной трещиноватостью.

На территории Восточной Кубы преобладают глеевые и коричневые бескарбонатные на нейтральных и основных породах, гумус-карбонатные и рендзин на известняках. Мощность этих почв от 5 до 30 см. Не исключено участие трещиноватости карбонатных пород.

По небольшому числу водосборов рек Италии и отсутствию геологической и гидрогеологической характеристики водосборов делать какие-то выводы затруднительно. Но определенно показано, что подземный водообмен существует.

Различие полученных величин подземного водообмена совершенно очевидно состоит в степени увлажнения территории и формировании гидрогеологических особенностей.

Таким образом, величина подземного водообмена, так же как и слой инфильтрации зависят от расположения водоупора и вида грунтов между поверхностью земли и водоупором, т.е., другими словами, от мощности и литологического состава зоны аэрации.

На основании полученных данных на исследуемых водосборах можно заключить, что контуры и размеры водосборов рек, как по поверхностному водосбору, так и по подземному действительно не совпадают.

### Выводы

В связи с несовпадением поверхностного и подземного водосборов, вероятно, можно выполнить такую работу, такой анализ для каждого водосбора и полученный слой подземного водообмена использовать для корректировки площади водосбора.

Необходимо на более обширном материале установить долю участия стока подземного водообмена в подземном питании рек с разными площадями водосборов для конкретных регионов.



Таким образом, уравнение водного баланса, предложенное М.А. Великановым, объективно отражает природный процесс и должно использоваться наравне с другими обоснованными методами в гидрологических расчетах.

#### Библиографический список:

1. Великанов М.А. Водный баланс суши. – М.: Гидрометеиздат, 1940. – 140 с.
2. Иофин З.К. Совершенствование теории формирования элементов водного баланса речных бассейнов. – М.: Логос, 2012. – 196 с.
3. Игнатович Н.К. Гидрогеология Русской платформы. – М.: -Л.: Госгеолиздат, 1948. – 334 с.
4. Иофин З.К. Оценка впитывающей способности почв в процессе увлажнения с/х культур. Климат, экология, сельское хозяйство Евразии / Сб. статей международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию образования ИрСХА/ИЦ РВХ ВСНЦ СО. – Иркутск: 2009. – С. 642-647.

5. Алексеев Г.А., Великанова М.А. Отыскание формы связи между случайными величинами методом квантилей. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 299 с.

6. Алексеев Г.А., Великанова М.А. Ошибки измерений и эмпирические зависимости. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 299 с.

7. De Girolamo, A.M. Land use scenario development as a tool for watershed management within the Rio Mannu Basin / A.M. De Girolamo, A. Lo Porto. – Land Use Policy 29, 2012. – P. 691-701.

Материал получен редакцией 29.08.2017 г.

#### Сведения об авторе

**Иофин Зиновий Константинович**, доктор технических наук, доцент; ВоГУ, 160000, Вологодская область, г. Вологда, ул. Ленина, 15; тел. (8172) 725093, доб. 110, e-mail: pirit35@yandex.ru.

**Возова Галина Витальевна**, студентка, ВоГУ, 160000, Вологодская область, г. Вологда, ул. Ленина, 15; тел. (8172)725093, доб. 110, e-mail: vgv.9898@mail.ru

#### Z.K. IOFIN, G.V. VOZOVA

Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Vologodsky state technical university», Vologda, Russian Federation

## ASSESSMENT OF UNDERGROUND WATER EXCHANGE IN RIVER BASINS

*The article presents the assessment of the value of the underground water exchange between neighboring river basins. The underground water exchange is included in the water balance equation (1) by M.A. Velikanov. The value of underground water exchange in water balance has not been analyzed since the appearance of the equation. The underground water exchange takes place in the zone of an active water exchange which is determined by a depth of the erosion base level in the local watercourse. In hydrology the postulate is made that a river catch basin consists of a surface and underground ones. However, due to hydrological features they do not usually coincide. However, to determine the boundaries of the underground catchment is practically difficult, that is why only the surface drainage area is considered to be the value of the river basin. Mismatching of surface and underground catchment areas can be observed in small rivers and in those rivers where due to geological conditions an active water exchange occurs between basins. The value of water exchange decreases when the water exchange area increases, that is why it can be considered that the value of underground water exchange approaches zero in rather large river basins. River ground inflow is replenished from the channel drainage zone. In case of water exchange with the neighboring basin the ground water feeding of the river will increase by the value of the drained water exchange. Moreover, in comparison with the zoned value the underground water inflow into the river will increase. The article deals with the water balance equation introduced by M.A. Velikanov (1). To cope with the task there have been made calculations according to the linear-correlation model (2). The approximate assessment of the average value of subsurface water exchange for the river basins in Vologda Oblast, Eastern Cuba and Italy was made.*

*Zone of active water exchange, surface and underground water exchange, linear-correlation model, infiltration capacity, layer of absorption into the soil, water balance equation, water catchment areas of surface and underground run-off.*

## Reference list

1. **Velikanov M.A.** Vodny balance sushi. – M.: Gidrometeoizdat, 1940. – 140 s.
2. **Iofin Z.K.** Sovershenstvovanie teorii formirovaniya elementov vodnogo balansa rechnyh basseinov. – M.: Logos, 2012. – 196 s.
3. **Ignatovich N.K.** Gidrologiya Russkoj platformy. – M.; L.: Gosgeolizdat, 1948. – 334 s.
4. **Iofin Z.K.** Otsenka vpityvayushchej sposobnosti pochv v protsesse uvlazhneniya s/h kuljtur. Klimat, ekologiya, seljskoe hozyajstvo Evrazii / Sb. Statej mezhdunarodnoj nauchno-practicheskoy konferentsii, posvyashchennoj 75-letiyu obrazovaniya IrSHA/NTS RVH VSNTS SO. – Irkutsk: 2009. – S. 642-647.
5. **Alexeev G.A., Velikanova M.A.** Otyskanie formy svyazi mezhdru sluchainymi velicinami metodom kvantilei. – L.: Gidrometeoizdat, 1962. – 299 s.
6. **Alexeev G.A., Velikanova M.A.** Oshibki izmerenij i empiricheskie zavisimosti. L.: Gidrometeoizdat, 1962. – 299 c.
7. **De Girolamo, A.M.** Land use scenario development as a tool for watershed management within the Rio Mannu Basin / A.M. De Girolamo, A. Lo Porto. – Land Use Policy 29, 2012. – P. 691-701.

The material was received at the editorial office  
29.08.2017

## Information about the authors

**Iofin Zinovij Konstantinovich**, doctor of technical sciences, associate professor; VoSU, 160000, Vologodskaya area, Vologda, ul. Lenina, 15; tel. (8172)725093, ext. 110, e-mail: pirit35@yandex.ru.

**Vozova Galina Vitaljevna**, student, VoSU, 160000, Vologodskaya area, Vologda, ul. Lenina, 15; tel. (8172)725093, ext. 110, e-mail: pirit35@yandex.ru

УДК 502/504: 621.644: 532.54

DOI 10/26897/1997-6011/2018-1-38-45

**О.Н. ЧЕРНЫХ, Н.В. ХАНОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

**А.В. БУРЛАЧЕНКО**

Акционерное общество «Мерседес-Бенц РУС», г. Москва, Российская Федерация

## ЗАИЛЕНИЕ ТРУБЧАТЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ ГОФРИРОВАННОГО МЕТАЛЛА

*Приводятся и обсуждаются результаты натурных обследований ряда водопропускных сооружений из металлических труб с нормальной формой гофры (МГТ), восстановленных за последние 6...12 лет в Московской области. Выявлены основные факторы, влияющие на заиливание трубчатых переходов на дорогах разной категории. Установлено, что на большинстве водных объектов русла водотоков загрязнены мусором и строительным материалом, поверхность воды в водопропускной трубе и на походных участках была в момент обследования покрыта густой ряской, в ней находились значительные иловые отложения, примерно в одной трети МГТ превышающие допустимые нормы, наблюдался застой воды перед входным оголовком и его деформация, оголовки МГТ заросли высокой травой и кустарником, на двух объектах были обнаружены бобровые плотины, что говорит о недостаточной работе служб эксплуатации. Обоснована необходимость составления методической и рекомендательной литературы для служб эксплуатации и мониторинга соответствующих водных объектов и участков автодорог с водопропускными сооружениями из металлических гофрированных структур, обеспечивающих надёжную работу МГТ на временных и постоянных водотоках. Отмечена необходимость проведения гидравлических лабораторных и натурных исследований при различных режимах работы равнинных и косогорных труб, труб некруглого сечения с разными параметрами гофр и конструктивным оформлением дна, а также труб больших диаметров.*

*Водопропускные сооружения, металлические гофрированные трубы с нормальным гофром, заиливание, надёжность работы, натурные исследования, эксплуатационные мероприятия.*