

## Оценка доли напорного питания в подземном стоке рек – притоков Иваньковского водохранилища

Е.Е. Лапина

*Иваньковская НИС – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Институт водных проблем Российской академии наук, г. Конаково  
shritser\_elena@rambler.ru*

**Аннотация.** Проанализированы результаты многолетних исследований водного и гидрохимического режима притоков Иваньковского водохранилища. Изучены малые реки, на водосборе которых есть гидрогеологические «окна»: Дойбица, Донховка и Сучок. На реках проводился комплекс гидрометрических, гидрохимических и гидрогеологических работ. Расчеты показали, что величина притока подземных вод между отдельными створами рек на бесприточных участках достигает  $1.0 \text{ м}^3/\text{с}$ . В зоне гидрогеологических «окон» четвертичные отложения залегают непосредственно на известняках верхнего карбона, что создает предпосылки для фильтрации потока восходящих вод в русло реки. Оценка доли артезианского питания проведена гидрохимическим методом по формуле Л.С. Балашова. Приток напорных вод в реки на отдельных участках в летнюю межень составил на р. Сучок (створ Вахромеево)  $0.091 \text{ м}^3/\text{с}$ , на р. Дойбица (створ Кочедыково)  $0.071 \text{ м}^3/\text{с}$ , на р. Донховка (створ Селихово) –  $0.04 \text{ м}^3/\text{с}$ . Полученная величина напорного питания изученных рек составляет от 1 до 5 % от среднемноголетнего расхода.

**Ключевые слова:** подземный приток в реки, напорные воды, гидрохимический метод, родники.

## Evaluation of artesian waters part in underground feeding of the rivers – tributaries of the Ivankovo reservoir

E.E. Lapina

*Ivankovo scientific research station – branch of the Water Problems Institute RAS, Konakovo  
shritser\_elena@rambler.ru*

**Abstract.** Results of long-term studies of water and hydrochemical regimes of tributaries of the Ivankovo reservoir were analyzed. Small rivers have been studied, on the catchment of which there are hydrogeological openings: Doybitsa, Donkhovka and Suchok. A complex of hydrometric, hydrochemical and hydrogeological works was carried out on the rivers. Calculations showed that the magnitude of groundwater inflow between separate river sections in non-drainage areas reaches  $1.0 \text{ м}^3/\text{s}$ . Quaternary deposits in the zone of hydrogeological opening lie directly on limestones of the Upper Carboniferous, which creates prerequisites for filtering the flow of ascending water into the riverbed. Share of artesian feeding was estimated by the hydrochemical method according to the formula L.S. Balashov. The inflow of pressure water into the rivers in some areas in the summer low-water season amounted on the river Suchok (alignment Vakhromeevo)  $0.091 \text{ м}^3/\text{s}$ , Doybitsa (Kochedykovo alignment) –  $0.071 \text{ м}^3/\text{s}$ , Donkhovka (Selikhovo alignment) –  $0.04 \text{ м}^3/\text{s}$ . In general, the artesian feeding of the studied rivers makes up to 1 - 5% of the average annual discharge.

**Keywords:** underground inflow into rivers, artesian waters, hydrochemical method, springs.

## **Введение**

Влияние подземных вод на формирование качества поверхностных водотоков, особенно при разгрузке в русло и родниковым стоком более минерализованных напорных вод, является весьма значительным. Разгрузка напорных вод происходит преимущественно закрытым стоком, из-за чего не может быть измерена напрямую. Количественная оценка напорного питания рек также затруднена из-за отсутствия полной и достоверной геологической, гидрогеологической и гидрологической информации. Оценить часть напорного питания в подземном стоке реки можно гидрометрическим, водно-балансовым, расчетным гидрогеологическим, гидрохимическим способами и методом математического моделирования [4]. Однако для аналитических расчетов или моделирования требуется большой объем фактических данных по гидрогеологическим параметрам.

Целью исследования является попытка оценки доли напорного питания в подземном стоке притоков Ивановского водохранилища гидрохимическим методом.

## **Материалы и методы исследования**

В основу исследований положены режимные наблюдения и результаты полевых работ на водосборах малых рек – притоков верхней Волги на отрезке от Твери до Дубны. В Волгу с правого берега впадает р. Шоша, образующая Шошинский плес Ивановского водохранилища. В докладе рассматриваются правобережные притоки водохранилища: Дойбица (длина реки 24 км), Сучок (17 км) и Донховка (25 км).

На реках проводился комплекс гидрометрических, гидрохимических и гидрогеологических работ от истока до устья. Гидрометрическая съемка сопровождалась измерением уровня грунтовых вод в колодцах прибрежной зоны либо в пробуренных вручную временных разведывательных скважинах глубиной 0.8 - 3.0 м на расстоянии 5.0 – 25.0 м от уреза (в случае отсутствия колодцев) с отбором проб воды на химический анализ. Анализ произведен в аттестованной гидрохимической лаборатории Ивановской научно-исследовательской станции по стандартным методикам.

Проведенные работы позволили выявить места относительно интенсивной субаквальной разгрузки и подземных потерь речного стока по длине реки. На створах рек в местах максимальных приращений стока в сочетании с увеличением минерализации речных вод на беспроточных отрезках выбрали опорные участки, где измерения расходов с одновременным гидрохимическим опробованием проводились круглогодично.

## **Геологические и гидрогеологические условия**

Верхневолжская низина расположена в пределах глубокого дочетвертичного прогиба, заполненного толщей четвертичных отложений, подстилаемых юрскими и каменноугольными отложениями. Четвертичные отложения выполнены преимущественно московскими водно-ледниковыми песками и моренными суглинками, по берегам рек – аллювиальными песками. Мощность четвертичных отложений меняется от 40 до 100 м. Водоносные пески разделяются мореной на несколько горизонтов, воды которых в основном и питают малые реки региона [2]. Каменноугольные отложения представлены чередованием известняков и доломитов с прослоями глин и мергелей, общая мощность отложений составляет 350–500 м [3]. Мощность юрских глин, перекрывающих известняки верхнего карбона, колеблется в среднем от 10 до 15 м, местами юрские глины размыты. Рельеф территории слаборасчлененный, абсолютные отметки поверхности меняются в пределах 124–149 м, минимальные отметки наблюдаются близ уреза р. Волги.

На отрезке Волги по линии Тверь – Дубна доля подземного притока в реки от среднегодового стока в устье составляет в среднем 32% [1].

Первым от поверхности напорным водоносным горизонтом верхнего карбона от Твери до устья Шоши является касимовский  $C_3\text{ksm}$ , от устья Шоши до Дубны – клязьминско-ассельский  $C_3\text{k}$ . Напорные воды верхнего карбона по своему составу относятся преимущественно к гидрокарбонатному кальциево-магниевому типу, с общей жесткостью 4.5 – 5.6 ммоль/дм<sup>3</sup> и минерализацией до 1 г/дм<sup>3</sup>.

Воды среднего карбона представлены сульфатно-гидрокарбонатным магниево-кальциевым типом, иногда катионный ряд меняется на магниево-натриевый и реже на кальциево-магниевый. Величина сухого остатка составляет 0.6-0.9 г/дм<sup>3</sup>, общая жесткость 6.0 -12.0 ммоль/дм<sup>3</sup>.

Грунтовые воды по химическому составу обычно гидрокарбонатного кальциево-магневого типа с общей минерализацией 0.2 – 0.5 г/дм<sup>3</sup>, в локальных участках загрязнения до 1.2 г/дм<sup>3</sup>. В зимнюю межень уровни грунтовых вод на водосборе рек Донховка и Дойбица составляют около 5.0 и 2.5–9.5 м соответственно, в бассейне реки Сучок от 3.0 до 7.0 м, в летнюю межень уровни повышаются.

Долины изученных рек слабо террасированы, глубина эрозионного вреза незначительна (до 40 м) и редко прорезает водоупорные толщи. Русло проложено в четвертичных породах, выполненных озерно-ледниковыми и суглинистыми отложениями московской и днепровской морен. Реки вытекают из болот либо в верховьях принимают крупные болотные притоки, поэтому в многоводные годы отличаются высокой цветностью (вплоть до 360 град. по Pt-Co шкале). Модуль подземного стока составляет порядка 2.1 л/с км<sup>2</sup> [2].

Для расчетов выбраны реки, часть водосборного бассейна которых приурочена к местам отсутствия юрских глин – гидрогеологическим «окнам», через которые осуществляется тесная гидравлическая связь всех водоносных горизонтов зоны активного водообмена.

Река Дойбица от верховьев и почти до подпора приурочена к площади распространения доюрской погребенной долины, которая тянется вдоль линии Воздвиженское – Завидово – Шуклово. Здесь разгружается не только касимовский водоносный горизонт верхнего карбона, но и залегающие ниже горизонты.

Водосборный бассейн р. Сучок на отрезке д. Новошино - д. Вахромеево занимает зону залегания известняков клязьминского водоносного горизонта, со стратиграфическим несогласием перекрытых московскими моренными суглинками.

На части водосбора реки Донховка на участке д. Марьино - юго-восточная окраина г. Конаково также располагается «окно».

В зоне гидрогеологических «окон» юрские глины размыты, четвертичные отложения залегают непосредственно на известняках верхнего карбона, что создает предпосылки для фильтрации потока восходящих вод в русло реки.

При выявлении притока напорных вод в водоемы и водотоки индикаторами традиционно считают ионы гидрокарбонатов  $\text{HCO}_3^-$ , кальция  $\text{Ca}^{2+}$ , магния  $\text{Mg}^{2+}$ , сульфатов  $\text{SO}_4^{2-}$ , натрия  $\text{Na}^+$  и хлоридов  $\text{Cl}^-$  [4, 8, 9].

Предыдущими исследованиями установлено, что на изученной территории наиболее информативным и контрастным индикатором разгрузки напорных вод в реки является ион  $\text{HCO}_3^-$  [5, 9]. В Табл. 1 показано содержание ионов  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и величины цветности в болотных, грунтовых и напорных водах региона.

Именно сочетание снижения величины цветности и резкого возрастания концентрации иона  $\text{HCO}_3^-$  вниз по течению от створа к створу указывает на очаги разгрузки артезианских вод [5, 9].

**Табл. 1 Химический состав природных вод (мг/дм<sup>3</sup>) разного генезиса.**

Параметр	Индекс водоносного горизонта и место отбора					
	hIV	aIV-aIII	fIIms	fIIIn-ms	C <sub>3</sub> k	C <sub>3</sub> ksm
	д. Шумново	родник, бор	родник, парк	б/о Раздолье	д. Плоски	с. Завидово
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	9	177	183	293	311	421
Ca <sup>2+</sup>	4	39	27	80	57	63
Mg <sup>2+</sup>	2	8	56	19	30	41
Цветность, град.	70	3	12	10	10	10

**Результаты и выводы**

О разгрузке напорных вод свидетельствуют родники с высокой общей минерализацией. На водосборах рек Дойбца и Сучок родники в виде сосредоточенного выхода на дневную поверхность единичны, здесь восходящие напорные воды разгружаются в ключевые колодцы. Такие колодцы на водосборной площади Дойбцы в силу особенностей ее геологического строения имеют повышенную минерализацию, связанную с разгрузкой глубоких вод. Распространены воды гидрокарбонатно-сульфатного кальциево-магниевого и хлоридно-гидрокарбонатного кальциево-магниевого состава.

Сосредоточенные выходы восходящих артезианских вод на дневную поверхность локального характера наблюдаются только по берегам Донховки. В прибрежной зоне Донховки имеются и родниковые колодцы, причем тип поступающих вод – гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-магниевый, либо гидрокарбонатный кальциево-магниевый. Полный ионный состав речных и родниковых вод представлен в Табл. 2.

**Табл. 2 Химический состав рек и родникового стока на водосборах рек Дойбца, Сучок и Донховка (холодный период года).**

Река – створ, местонахождение родника	Минерализация, г/дм <sup>3</sup>	Ионный состав, % - экв
1	2	3
р. Дойбца – с. Завидово	0.53	HCO <sub>3</sub> 67 Cl22SO <sub>4</sub> 10 /Ca60Mg30
д. Кочедыково, колодец	0.51	HCO <sub>3</sub> 55 SO <sub>4</sub> 20 NO <sub>3</sub> 17Cl9/ Ca51 Na+K26Mg23
д. Завидово, колодец	1.28	Cl57HCO <sub>3</sub> 35SO <sub>4</sub> 7NO <sub>3</sub> 2/Ca50Mg30 Na+K20
р. Сучок - Вахромеево	0.47	HCO <sub>3</sub> 63 Cl 24SO <sub>4</sub> 13 /Ca61Mg32 Na+K7
д. Долинки, колодец	0.4	HCO <sub>3</sub> 88 SO <sub>4</sub> 10 Cl2/ Ca66Mg18K10Na5
д. Долинки, ручная скважина	0.21	HCO <sub>3</sub> 59 SO <sub>4</sub> 37Cl3 /Ca74Mg24 Na+K2
д. Вахромеево, колодец	0.59	HCO <sub>3</sub> 87 SO <sub>4</sub> 9 Cl3 /Ca84Mg8 Na+K8
р. Донховка – с. Селихово	0.49	HCO <sub>3</sub> 84 SO <sub>4</sub> 8 Cl7 /Ca63Mg30 Na+K7
Селихово, родник	0.78	HCO <sub>3</sub> 70 Cl 16SO <sub>4</sub> 9 /Ca60Mg30
Конаково, родник у моста	0.68	HCO <sub>3</sub> 68 SO <sub>4</sub> 20 Cl2/Ca68Mg29
Конаково, родник, школа № 6	0.89	HCO <sub>3</sub> 60 SO <sub>4</sub> 28Cl 11/ Ca61Mg26Na11
Конаково, родник, окраина	0.92	HCO <sub>3</sub> 79 Cl 12SO <sub>4</sub> 8 NO <sub>3</sub> 1/ Ca63Mg31

Для изученных притоков разгрузка восходящих глубоких вод происходит путем претекания через толщу залегающих непосредственно на известняках карбона моренных суглинков, то есть закрытым артезианским стоком, или через тектонические

трещины [7]. В зоне разгрузки происходит сложное смешивание подземных вод разного генезиса.

### **Гидрохимический способ оценки части артезианского стока в подземном питании реки**

Метод основан на уравнении «смешения» поступающих в реку вод с различным содержанием компонента-индикатора. Использование метода возможно при наличии данных о расходах рек в верхнем и нижнем створах, и содержании компонента в речных и разгружающихся артезианских и грунтовых водах [6, 8]. Способ разработан Л.С. Балашовым, предложенные им формы расчетов имеют ряд модификаций [4, 6, 8], нами произведены расчеты по формуле [4],

$$Q_n = \frac{C_p - C_{np}}{C_n - C_{np}} Q_p$$

где  $Q_n$  – расход разгрузки напорных вод,  $m^3/c$ ;  $Q_p$  и  $C_p$  – расход и концентрация иона  $НСО_3^-$  ( $mg/dm^3$ ) в речных водах замыкающего створа,  $C_n$  и  $C_{np}$  – соответственно концентрация иона в напорных и грунтовых (средневзвешенные значения в скважинах, колодцах и речных водах верхнего створа) водах.

В качестве замыкающих створов приняты участки реки в наибольшей близости от подпора Ивановским водохранилищем: на Дойбице – д. Кочедыково, на Сучке – д. Вахромеево, на Донховке мост между железной дорогой и юго-восточной окраиной г. Конаково. Концентрации грунтовых вод определены в местах разгрузки аллювиальных и межморенных вод, гидравлически не связанных с водоносными горизонтами верхнего и среднего карбона. При расчетах учтена стандартная погрешность при замере расходов 3.5 % [9].

В 2012-2013 гг. в замыкающем створе Дойбицы получен приток разгрузки напорных вод  $0.071 m^3/c$  (4.67 % от расхода речного потока), Сучка –  $0.091 m^3/c$  (8.2%), Донховки –  $0.0073 m^3/c$  (22%). В летнюю межень 2004 года приток напорных вод в створе Вахромеево составил  $0.0026 m^3/c$  (8.96%), в ноябре 2012 г. в створе Донховки расход притока напорных вод равнялся  $0.04 m^3/c$  (2.9%).

Абсолютные отметки поперечника створа Кочедыково (р. Дойбица) составляют 127.5 м, пьезометрический уровень  $C_{3к}$  – 128.0 м. Русло здесь врезано в слабопроницаемые моренные суглинки, представленные тяжелыми разностями, что позволяет для перекрестной проверки полученных цифр притока воспользоваться формулой С.Ф. Аверьянова [6]

$$Q_n = \frac{\pi k \Delta H}{\ln[16T/\pi(d + \Delta h)]}$$

где  $k$  – коэффициент фильтрации суглинков,  $\Delta H$  - превышение пьезометрического напора водоносного горизонта над отметкой уреза воды в реке,  $T$  – мощность слоя суглинков,  $d$  – ширина реки по урезу. Подставляя в формулу свои данные, получаем величину притока разгрузки артезианских вод на створе Кочедыково  $0.0029 m^3/c$ .

### **Выводы**

Несовпадение порядка величины притока артезианских вод при его подсчете разными методами на створе Кочедыково говорит о том, что расчеты питания рек при влиянии древних погребенных долин требуют учета еще каких-то факторов. При расчетах по формуле Л.С.Балашова нужен безошибочный подбор объектов грунтовых

вод: нельзя использовать данные по ключевым колодцам, куда разгружаются глубокие напорные воды.

В целом величина напорного питания изученных рек, рассчитанная гидрохимическим методом, составляет 1 - 5 % от среднегоголетнего расхода, что не противоречит опубликованным данным [4, 5].

#### **Благодарности**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Тверской области в рамках научного проекта № 18-45-690001.

#### **Acknowledgments**

The research has been conducted in the framework of regional grant No. 18-45-690001 supported by RFBR and Government of Tver region.

#### **Список литературы**

1. Иваньковское водохранилище: современное состояние и проблемы охраны. М.: Наука, 344 с.
2. Ковалевский В.С. Комбинированное использование ресурсов поверхностных и подземных вод. М.: Научный мир, 2001. 332 с.
3. Красинцева В.В., Кузьмина Н.П., Сенявин М.М. Формирование минерального состава речных вод. М., Наука, 1977. 178 с.
4. Колесов Г.П., Грейсер Е.Л. Оценка роли напорных подземных вод в формировании речного стока (на примере р. Тосны) // Труды ГГИ. 1970. вып. 182. С. 26 – 50.
5. Лапина Е.Е., Ахметьева Н.П., Кудряшова В.В. Родники долины верхней Волги: условия формирования, режим, охрана. Тверь: ООО «Купол», 2014. 256 с.
6. Михайлов Л.Е. Гидрогеология. Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. 262 с.
7. Попов О.В. Подземное питание рек. М.: Гидрометеиздат, 1968. 290 с.
8. Шестаков В.М., Поздняков С.П. Геогидрология. М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. 176 с.
9. Яковлев П.И. Опыт корректировки параметров регионального подземного притока в реки по гидрохимическим и гидрогеохимическим данным // Геология, география и глобальная энергия. Геология, поиски и разведка нефти и газа. 2013. № 3 (50). С. 92-110.