

УДК 556.3+556.5

к.х.н. Смирнова И. В.,  
Вознюк Ю. С.

(ИЦМОС ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, Россия, julijav1904@gmail.com)

## РАСЧЁТ ПОДЗЕМНОГО СТОКА В РЕКУ БЕЛАЯ ГИДРОХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

В работе рассмотрены типы питания рек, а также проанализированы методы и приёмы оценки подземной составляющей речного питания. Выбраны и подробно рассмотрены гидрохимические методы, позволяющие рассчитать подземный сток из гидрохимических данных. Выполнен расчёт подземного стока в реку Белая двумя различными гидрохимическими методами. На основании полученных результатов сделан вывод о преобладающем подземном питании реки Белая.

**Ключевые слова:** подземная составляющая речного стока, гидрохимические данные, оценка подземного стока, ионный сток.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** Питание реки — это процесс пополнения реки водой. Основными источниками питания рек являются дождевые воды, талые воды (образующиеся при таянии снега или ледника) и подземные воды.

В зависимости от географического положения и времени года, каждая река может иметь несколько источников питания.

Например, питание горных рек осуществляется в основном за счёт таяния ледников.

В реках экваториальных зон, где в течение всего года выпадает много осадков, преобладает дождевое питание.

В жарких и сухих районах источником питания рек служат подземные воды.

А в умеренных широтах реки питаются из нескольких источников, т. е. осуществляется смешанное питание: весной преобладает снеговое питание, летом и осенью — дождевое, и в течение всего года реки подпитываются подземными водами.

Основные фазы водного режима.

Половодье — период самого высокого уровня воды в реке. Для большинства рек умеренных широт характерно *весеннее половодье*, которое вызывается весенним снеготаянием. Для рек юго-востока России и в Юго-Восточной Азии характерно *летнее половодье*.

Паводок — кратковременное и непериодическое повышение уровня воды, возникающее при оттепели в результате быстрого таяния снега или после обильных дождей. Если паводки следуют один за другим, это может привести к половодью и даже вызвать наводнение.

Межень — период самого низкого уровня воды в реке. Для рек умеренных широт характерна зимняя и летняя межень. В это время река питается только подземными водами, а летом — дождями.

Ледостав — период, когда на водотоке или водоёме находится неподвижный ледяной покров. Длительность ледостава зависит от продолжительности зимы, зимней температуры, характера водоёма, толщины снегового покрова.

Ледоход — движение льдин и ледяных полей на реках.

В течение года режим питания рек неравномерный. Это связано с неравномерностью выпадения атмосферных осадков, таяния снега и льда и поступления талых вод в реки.

Территория Луганской Народной Республики относится к умеренным широтам, поэтому ледостав и ледоход — явления для нашего региона довольно редкие. Питание рек ЛНР осуществляется по смешанному типу с преобладанием подземного питания.

Различают два вида подземного питания: грунтовое и артезианское (напорное) питание.

Грунтовое питание рек осуществляется из основных водоносных горизонтов грунтовых вод. Постоянный грунтовый сток обеспечивает стабильный приток вод в реку в течение всего года, является одним из главных источников подземного питания рек, служит естественным регулятором поверхностного стока, обеспечивая минимальные летние и зимние расходы реки.

Артезианское питание рек обусловлено поступлением глубоких напорных подземных вод. Считается, что подземное питание рек из напорных водоносных горизонтов, по сравнению с постоянным грунтовым питанием, имеет ограниченное значение. Но при благоприятных условиях разгрузки напорных водоносных горизонтов артезианский сток может оказывать существенное влияние на формирование общего стока рек.

В нашем регионе подземное питание рек осуществляется в основном грунтовыми водами.

**Постановка задачи.** Для оценки вклада подземного питания в общий сток реки необходимо выбрать наиболее приемлемые и желательные несложные методы определения подземного стока. Анализ существующих методов позволит сделать этот выбор, произвести необходимые расчёты и сравнить полученные результаты, чтобы в дальнейшем использовать их на практике.

**Целью** данной работы является анализ существующих методов определения подземного стока и выбор метода его расчёта.

**Объект исследования** — река Белая.

**Предмет исследования** — гидрохимические методы расчёта подземного стока в реку Белая.

**Методика исследования.** Определение гидрохимических показателей воды осуществлялось в соответствии с нормативными документами, ГОСТами и методиками для подземных и поверхностных вод и воды питьевого качества. Методики

предполагают использование гравиметрического, титриметрического, потенциометрического и фотометрического методов анализа с последующей статистической обработкой результатов [1–4].

**Изложение материала.** Несколько общих сведений об объекте наших исследований.

Река Белая — правый приток реки Лугань. Она входит в бассейн Северского Донца и относится к категории малых равнинных рек: её длина составляет 88 км. Площадь водосборного бассейна 755 км<sup>2</sup>. Уклон — 3,1 м/км. Долина реки асимметрична, шириной до 3 км. Русло извилистое, шириной от 2 до 10 метров, есть перекаты. Используется для орошения, технических и бытовых потребностей, рекреации.

Берёт начало на юго-западных склонах Донецкой возвышенности. Протекает по территории Перевальского, Лутугинского и Славяносербского районов Луганской Народной Республики. В бассейн реки Белая входит Исаковское водохранилище и 14 прудов.

Населённые пункты, через которые протекает река Белая: Тимирязево, Городище, Малоивановка, Красная Заря, Новосёлковка, Ящиково, Селезнёвка, Бугаёвка, Малоконстантиновка, Троицкое, Михайловка, Юрьевка, Белое, Весёлая Тарасовка, Гаевое, Сабовка (устье реки Лугань).

Поскольку речной сток является объективным показателем для определения полноводности реки, необходимо определить, за счёт чего он формируется.

Сток реки Белая формируется поверхностным и подземным питанием.

Имея значения общего стока реки, интересно оценить вклад каждого вида речного питания, чтобы понять, какой вид питания преобладает. Это имеет большое значение как для составления водного баланса, так и для народнохозяйственной деятельности.

Нас заинтересовал вопрос оценки подземного стока в реку Белую с целью выяснения преобладающего вида питания реки.

Для расчёта подземного питания рек, озёр и других водоёмов применяются различные методы и приёмы. Использование выбранного способа расчета определяется назначением исследований, характером водотока или водоёма и степенью изученности гидрогеологических и гидрологических условий [5].

Разнообразие природных условий, различная степень гидрогеологической и гидрохимической изученности объектов исследования и разнообразие практических задач создают определенные трудности в выборе надёжного метода расчета и получении достаточно точных результатов.

***Ни один из известных в настоящее время способов оценки подземного питания рек и водоёмов не может считаться универсальным.***

Поэтому наиболее точные результаты могут быть получены при комплексном использовании одновременно нескольких методов. Непременным условием применения любого метода расчёта подземного стока в реки и водоёмы является получение точных гидрогеологических, гидрологических и гидрохимических параметров, входящих в расчётные формулы, схемы и модели.

Основные методы и приёмы количественной оценки подземного стока можно объединить в следующие группы: гидрогеологические или гидродинамические, воднобалансовые, физические, гидрологические и гидрохимические.

***Гидрогеологические или гидродинамические методы*** основаны на изучении режима подземных вод и определении гидродинамических параметров водоносного пласта, подземного потока и водозабора прямыми измерениями.

***Воднобалансовые методы*** занимают самостоятельное положение, хотя они тесно связаны с гидродинамическими и гидрологическими методами.

Баланс подземных вод представляет собой алгебраическую сумму количества воды, идущей на пополнение подземного потока, и её количества, расходуемого этим

потоком за определенный промежуток времени.

***Физические методы*** оценки подземного стока основаны на изучении некоторых физических параметров подземных и поверхностных вод: температуры, электро- и теплопроводности. Изменение характера и величин этих параметров позволяет определить участки подземного питания или подземных потерь речного стока.

***Гидрологические методы.*** Среди гидрологических методов определения подземного питания рек наибольшее распространение получили методы расчленения гидрографов общего стока рек. Этот путь оценки подземного стока подкупает своей доступностью и сравнительной простотой. Однако многочисленные приёмы расчленения гидрографов речного стока по типам питания и последующие расчёты подземной составляющей во многом определяются субъективными представлениями исследователей о характере подземного стока. Особенно разноречивы эти представления при выделении подземной составляющей в периоды половодья и паводков.

***Гидрохимические методы*** определения подземного питания рек базируются на изучении гидрохимического режима и баланса поверхностных и подземных вод и анализе гидродинамических условий их формирования.

Для нас наиболее привлекательными оказались *гидрохимические методы* определения подземной составляющей питания рек, основанные на изучении гидрохимического режима и баланса поверхностных и подземных вод.

Эффект применения гидрохимических методов во многом зависит не только от правильного выбора характерного химического компонента, но и от степени его концентрации в речных и подземных водах.

В качестве маркирующих компонентов химического состава вод могут служить различные соли и ионы, но концентрации их в поверхностных и подземных водах должны существенно отличаться.

В качестве маркирующих компонентов мы остановились на ионах кальция  $\text{Ca}^{2+}$  и гидрокарбонат-ионах  $\text{HCO}_3^-$ .

Дело в том, что поступление в речные воды ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{HCO}_3^-$  обусловлено в основном растворением горных пород и, следовательно, изменчивость их стока определяется прежде всего водностью.

Что касается сульфат-ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ , хлорид-ионов  $\text{Cl}^-$ , фосфат-ионов  $\text{PO}_4^{3-}$ , ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$ , то они попадают в речные воды с атмосферными осадками и со стоками, образующимися в результате хозяйственной деятельности. Поэтому в качестве маркирующих компонентов не подходят.

Среди обнаруженных нами в литературе гидрохимических методов оценки подземной составляющей питания рек мы остановились на двух: метод А. Т. Иванова [5] и метод В. В. Дрозда [6].

После уточнения терминологии, устранения путаницы в обозначениях (к сожалению, этим грешат многие исследователи) и приведения их к единому виду мы получили следующие уравнения и расчётные формулы.

По методу А. Т. Иванова подземная составляющая общего речного стока описывается уравнением:

$$Q_{\text{подз}} = Q_i \frac{C_p - C_{p(\text{min})}}{C_{p(\text{max})} - C_{p(\text{min})}},$$

где  $Q_{\text{подз}}$  — подземный сток,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$Q_i$  — сток на срочную дату,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$C_p$  — содержание компонента в речной воде,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;

$C_{p(\text{min})}$  — минимальная концентрация компонента в пик весеннего половодья,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;

$C_{p(\text{max})}$  — максимальная концентрация компонента в период низкой межени,  $\text{г}/\text{м}^3$ .

Недостатком этого метода является упрощенное представление о формировании химического состава речного стока, что, как пишется в литературных источниках, ограничивает возможность практического применения метода, и использование его может дать только приближённые значения.

По методу В. В. Дрозда подземная составляющая речного стока описывается следующим выражением:

$$Q_{\text{подз}} = Q_i \frac{C_p}{C_{\text{подз}}} = \frac{Q_u}{C_{\text{подз}}},$$

где  $Q_u$  — ионный сток в замыкающем створе реки,  $\text{г}/\text{с}$ ;  $C_{\text{подз}}$  — содержание компонента в подземной воде,  $\text{г}/\text{м}^3$ ; остальные обозначения те же, что в уравнении А. Т. Иванова.

Ионный сток составляет основную долю растворенных веществ. Под ионным стоком понимается количество вещества в ионной форме, выносимого рекой с данной территории в течение определенного промежутка времени. Ионный сток формируется под влиянием как природных, так и антропогенных факторов.

За условный гидрохимический ионный фон обычно принимается начальный период гидрометеорологических наблюдений, на протяжении которого интенсивная хозяйственная деятельность в регионе либо отсутствовала, либо была незначительной, следовательно, формирование ионного состава поверхностных вод в данное время было обусловлено лишь природными факторами.

В качестве современного периода наблюдений принимается период снижения или относительной стабилизации показателей стока ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  (как правило, последние 8–10 лет наблюдений).

У нас пока, к сожалению, таких данных нет — мы только в начале пути.

По имеющимся гидрохимическим данным нами выполнен расчёт подземной составляющей стока реки Белая методами А. Т. Иванова и В. В. Дрозда.

В таблицах 1 и 2 представлены результаты расчёта.

Как следует из таблиц 1 и 2, результаты, которые мы получили на основании более чем скромных данных, позволяют утверждать, что преобладающую роль в питании реки Белая играет подземный сток.

**РЕГИОНАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**

Таблица 1

Расчёт подземного стока  $Q_{\text{подз}}$  методом А. Т. Иванова

Ион	Дата замера	Сток на срочную дату, $Q_i, \text{м}^3/\text{с}$	Содержание компонента в речной, воде $C_p, \text{г}/\text{м}^3$	Подземный сток, $Q_{\text{подз}}, \text{м}^3/\text{с}$
2021 г.				
$\text{Ca}^{2+}$	03.03.21	0,22	85,17	<b>0,110 (50 %)</b>
	16.03.21	0,30	89,23	<b>0,197 (66 %)</b>
	30.03.21	0,57	92,18	<b>0,440 (77 %)</b>
	09.12.21	0,135	90,28	<b>0,094 (70 %)</b>
2022 г.				
	01.03.22	<b>2,02</b> (весеннее половодье условно)	<b>52,10</b> (минимальная концентрация в пик весеннего половодья)	
$\text{Ca}^{2+}$	04.05.22	1,96	108,22	<b>1,44 (74 %)</b>
	01.07.22	0,33	124,25	<b>0,31 (94 %)</b>
	28.07.22	<b>0,53</b> (период низкой межени)	<b>128,26</b> (максимальная концентрация в период низкой межени)	

Таблица 2

Расчёт подземного стока  $Q_{\text{подз}}$  методом В. В. Дрозда

Ион	Дата замера	Сток на срочную дату, $Q_i, \text{м}^3/\text{с}$	Сод-е комп-та в речной воде, $C_p, \text{г}/\text{м}^3$	Сод-е комп-та в подземной воде, $C_{\text{подз}}, \text{г}/\text{м}^3$	Ионный сток, $Q_{\text{и}}, \text{г}/\text{с}$	Подземный сток, $Q_{\text{подз}}, \text{м}^3/\text{с}$
2021 г.						
$\text{Ca}^{2+}$	16.03.21	0,3	89,23	140,16	26,76	<b>0,191 (64 %)</b>
	09.12.21	0,135	90,28	136,27	12,19	<b>0,090 (66 %)</b>
$\text{HCO}_3^-$	09.12.21	0,135	396,50	588,00	53,53	<b>0,091 (67 %)</b>
2022 г.						
$\text{Ca}^{2+}$	01.07.22	0,33	124,25	128,26	41,00	<b>0,32 (97 %)</b>
$\text{HCO}_3^-$	01.07.22	0,33	469,70	498,40	155,00	<b>0,31 (94 %)</b>

Совпадение значений подземного стока, рассчитанного методами А. Т. Иванова и В. В. Дрозда на основании гидрохимических данных, практически полное. А это значит, что мы имеем достаточно надёжные расчётные инструменты для оценки подземной составляющей речного стока.

**Выводы:**

1. На основании анализа методов расчёта подземного стока в условиях нашего региона наиболее приемлемыми являются гидрохимические методы.

2. Расчёты подземного стока в реку Белая, выполненные двумя гидрохимическими методами, дают удовлетворительное совпадение.

3. Методы А. Т. Иванова и В. В. Дрозда, основанные на гидрохимических данных, являются достаточно надёжными расчётными инструментами для оценки подземной составляющей речного стока и могут быть использованы не только для оценки подземного стока, но и для составления водного баланса реки Белая.

Дальнейшие исследования в этом направлении предполагается посвятить изучению ионного стока в реку Белая. Сбор данных в течение ближайших 8–10 лет позволит определить гидрохимический ионный фон, а также даст дополнительную расчётную возможность для оценки подземного стока.

**Библиографический список**

1. СанПиН 2.1.5-980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006938>.
2. Методики определения концентраций загрязняющих веществ в природных и сточных водах : сборник. Донецк, 1994. 280 с.
3. Требования к качеству питьевой воды. Государственные санитарные нормы и правила ГСанПиН 2.2.4-171-10 [Электронный ресурс] // Ecosoft : [сайт]. [2023]. URL: <https://ecosoft.ua/blog/trebovaniya-k-kachestvu-pitevoy-vody/>.
4. Качество измерений состава и свойств объектов окружающей среды и источников их загрязнения. Киев, 1997. 664 с.
5. Морозов П. Н. Подземный сток и методы его определения : конспект лекций. Л. : ЛГМИ, 1975. 61 с.
6. Яковлев П. И. Определение подземной составляющей речного стока по гидрохимическим данным на примере Верхней Волги на участке от истока до г. Старицы // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2014. № 1 (5). С. 92–109.

© Смирнова И. В.© Вознюк Ю. С.

*Рекомендована к печати начальником службы экологической безопасности и производственной санитарии Управления охраны труда и промышленной безопасности ООО «ЮГМК» Красноносом Н. Н., к.т.н., доц. каф. машин металлургического комплекса ДонГТУ Козачишным В. А.*

Статья поступила в редакцию 05.05.2023.

**Ph.D. in Chemistry Smirnova I. V., Voznyuk Yu. S.** (SCEM of DonSTU, Alchevsk, LPR, Russia, [julijav1904@gmail.com](mailto:julijav1904@gmail.com))

**CALCULATION OF UNDERGROUND FLOW INTO THE BELAYA RIVER BY HYDROCHEMICAL METHODS**

*The paper considers the types of river feeding, and also analyzes the methods and techniques for assessing the underground component of river feeding. Hydrochemical methods have been selected and considered in detail, allowing the calculation of underground runoff using hydrochemical data. The calculation of underground runoff into the Belaya River was carried out using two different hydrochemical methods. Based on the results obtained, a conclusion was made about the predominant underground feeding of the Belaya River.*

**Key words:** *underground component of river runoff, hydrochemical data, assessment of groundwater runoff, ionic runoff.*