

УДК 556.532

А.Г. Косицкий¹, А.Н. Лукьянова²

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДОСБОРЫ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ САТИНСКОГО ПОЛИГОНА (ИХ РАЗМЕР И ВЛИЯНИЕ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДЫ)

Проведены полевые гидролого-гидрохимические исследования на ручьях Сатинского учебно-научного полигона – правобережных притоков р. Протвы в период летней межени. Установлено, что подземные водосборы ручьев более чем в 10 раз превышают по площади их поверхностные водосборы. Выявлена линейная зависимость нарастания площадей подземных водосборов с увеличением глубины врезания ручьев. Получены данные о минерализации и химическом составе воды различных водоносных горизонтов, питающих данные ручьи.

Ключевые слова: водоток, водосбор, модуль стока, минерализация, химический состав.

Введение. Общеизвестно, что формирование стока малых рек и особенно ручьев во многом определяется аazonальными факторами. Согласно ГОСТ малой рекой считается: «Река, бассейн которой располагается в одной географической зоне и гидрологический режим ее под влиянием местных факторов может быть не свойственен для рек этой зоны» [ГОСТ ..., 1988]. В связи с этим условия формирования стока и режима малых рек хуже поддаются пространственному анализу по сравнению со средними и крупными реками. С другой стороны, малые реки являются наиболее уязвимым звеном речной сети [Малые ..., 1998]. Например, одинаковая по величине антропогенная нагрузка может не вызвать никаких сколь-либо заметных изменений в химическом составе воды больших и даже средних рек благодаря их потенциалу разбавления и самоочищения, а для малых рек – сильно изменить качество воды в них. Кроме того, такие опасные гидрологические явления, как наводнения, зачастую носят на малых реках более катастрофический характер по сравнению со средними и большими реками из-за большей скорости развития этих процессов. Трагическое наводнение в г. Крымске в 2012 г. и ряде рек Черноморского побережья Краснодарского края, произошедшие за последние десятилетия именно на малых реках, – печальное тому подтверждение.

Минимизация ущербов, наносимых опасными гидрологическими явлениями, во многом достигается за счет правильной оценки гидрологических характеристик рек. Азональность малых рек и особенно ручьев серьезно осложняет эту задачу. Недоучет местных особенностей водосборов неизученных малых рек, информацию о которых невозможно получить по данным наблюдений на реках-аналогах, может привести к многократному завышению или занижению расчетных гидрологических характеристик.

Постановка задачи исследования. Одним из проявлений местных условий формирования стока

малых рек является несовпадение их поверхностных и подземных водосборов. Если контуры поверхностных водосборов рек можно относительно легко выделить по топографическим картам, то для выделения подземных водоразделов необходимо иметь подробные гидрогеологические карты. Разные подземные водоносные горизонты могут иметь несовпадающие контуры водораздельных линий при проецировании их на земную поверхность. Многие потоки подземных вод имеют условные естественные границы. Через них возможно перетекание воды из одного потока в другой [Всеволожский, 2007]. В этом случае подземные воды из одного и того же места могут поступать в разные речные бассейны в зависимости от соотношения уровней воды в реках. Следует подчеркнуть, что четкого определения понятия «водосборная площадь подземного водного объекта» нет [Язвин, 2014].

Таким образом, водосбор реки не имеет четкой водораздельной линии. По сути, водораздел представляет собой полосу. Вода, выпадающая на поверхность этой полосы в виде атмосферных осадков, может поступить как в один, так и в другой речной бассейн в зависимости от того, насколько глубоко она инфильтруется или же стечет поверхностным стоком. Ширина этой полосы может быть различной, однако она мало будет зависеть от размера речного бассейна, поскольку водоразделы больших рек – это одновременно и водоразделы средних и малых рек, являющихся притоками больших рек. Следовательно, площадь водораздельной полосы при прочих равных условиях должна быть пропорциональна длине поверхностной водораздельной линии. Согласно законам геометрии при росте размера объекта площадные размеры его увеличиваются сильнее относительно линейных. Очевидно, что чем больше река, тем больше будет отношение площади бассейна к длине водораздельной линии. Таким образом, доля площади водораздельной полосы в общей площади водосбора большой и даже

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, канд. геогр. н., доцент; e-mail: alexhydro@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, инженер; e-mail: lan22-66-88@mail.ru

средней реки является не очень существенной. Что касается малых рек и особенно ручьев, то для них эта полоса может составлять значительную долю водосбора, в отдельных случаях даже серьезно превышая площадь бассейна водотока, выделенного по поверхностной водораздельной линии.

Вопросы, связанные с несовпадением областей поверхностного и подземного питания малых рек относятся к числу малоизученных. Тем не менее, в отечественной литературе встречаются примеры такого несовпадения. В большинстве случаев это приурочено к районам, где распространен карст. В частности, многие Крымские реки имеют область питания подземными водами как большую, так и меньшую относительно поверхностного водосбора [Амеличев с соавт., 2017; Олиферов с соавт., 2005]. Упоминаются подобные несовпадения и в ряде других регионов нашей страны [Гидрогеология ..., 1990; Комлев, 2007; Плоткин с соавт., 1997].

В зарубежной литературе также встречаются примеры подобных несовпадений [Bonassi, Magdalenic, 1993]. В некоторых из них предприняты попытки оценить площади подземных водосборов [Yoshida et al., 2008]. Целью настоящей работы является оценка условий формирования меженного стока водотоков, имеющих серьезное несовпадение границ поверхностных и подземных водосборов.

Материалы и методы исследования. В качестве объектов исследования выбраны три ручья, впадающие в р. Протва с правого берега в пределах Сатинского учебно-научного полигона. Это За-

падный Сатинский, Восточный Сатинский и ручей Егорова оврага. Бассейны ручьев, выделенные по карте рельефа [Латыпов с соавт., 2014] находятся в диапазоне от 0,50 до 0,72 км² (рис. 1). Все они протекают в глубоко врезающихся оврагах и питаются водой нескольких последовательно разгружающихся водоносных горизонтов. Эти водоносные горизонты имеют площади распространения, значительно превышающие площади поверхностных водосборов ручьев.

В работе использованы результаты гидрометрических измерений, проводимых на этих ручьях в период летней межени с 1999 по 2017 гг. Все измерения проводились в июле при условии, что в день проведения измерений и накануне осадков не было, поэтому все они приходятся на меженную фазу. Каждый год проводилось по 2–3 серии измерений, включающих измерения расходов воды на разном удалении от устьев ручьев, а также отбор проб на химический анализ. Проводимые параллельно водомерные наблюдения показали, что уровень воды в ручьях не претерпевал серьезных изменений (размах колебаний меженных уровней в течение июля не превышал 1 см). Кроме того, изотопные исследования на водотоках Сатинского полигона (2009–2011 гг.) показали, что дождевые паводки на ручьях с таким небольшим водосбором проходят очень быстро и уже через 2 часа после окончания дождя, его влияние на расход и химический и изотопный состав практически не заметно [Чижова с соавт., 2013]. Поэтому, несмотря на то, что измерения но-

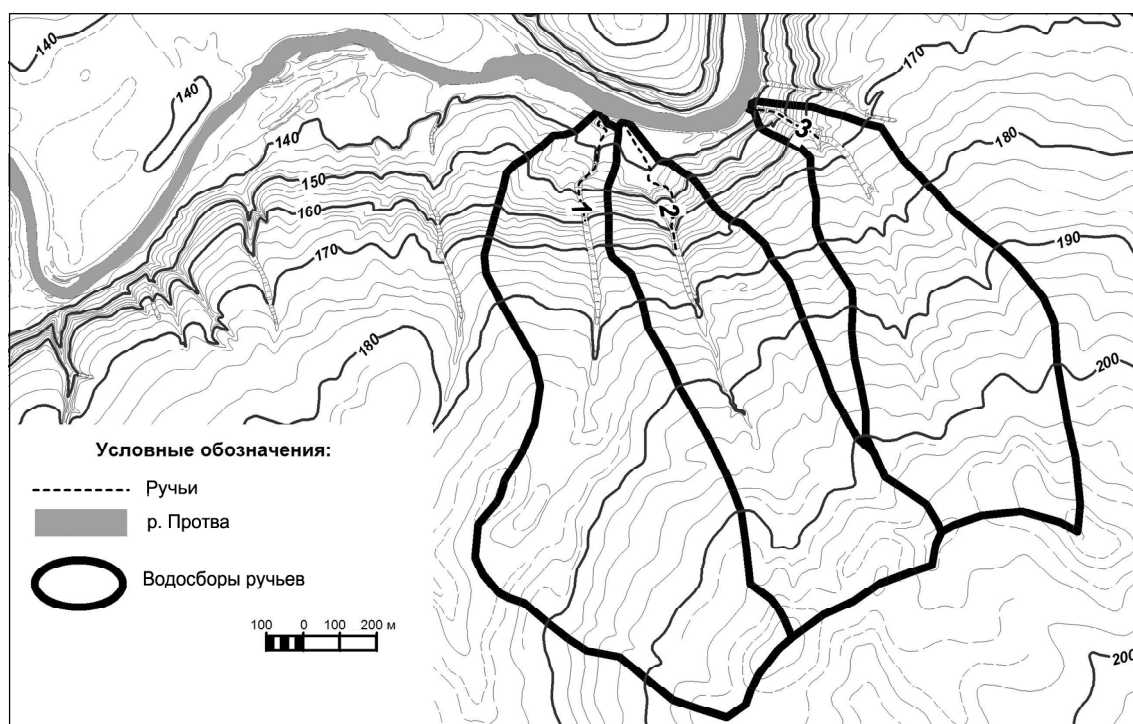


Рис. 1. Выделение поверхностных водосборов ручьев по топографической карте Сатинского полигона. Обозначения: 1 – Западный Сатинский ручей; 2 – Восточный Сатинский ручей; 3 – ручей Егорова оврага

Fig. 1. Identification of surface water catchments of streams using the topographic map of the Satino area. 1 – Zapadny Satinsky Creek; 2 – Vostochniy Satinsky Creek; 3 – Egorov Creek

сили эпизодический характер, можно считать, что они отражают июльские летне-меженные условия каждого конкретного года.

Пробы для определения химического состава отбирались еженедельно в июле в 2009–2015 гг. в фиксированных створах на реке Протве и ручьях. Определение содержания гидрокарбонатов, кислорода, жесткости и кальция проводилось объемным методом (ацидометрическим, Винклера, трилонометрическим) в гидрохимической лаборатории на УНБ «Сатино». Остальные компоненты солевого состава и нитраты определялись с помощью системы капиллярного электрофореза «Капель».

Результаты исследований. По накопленному ряду наблюдений оценены осредненные значения июльских меженных расходов воды каждого ручья в устьевых створах (табл. 1). Расходы воды ручьев в разные годы могут быть различными; они зависят прежде всего от уровня грунтовых вод. Среднеквадратичное отклонение расходов воды от среднего значения не превышает 30%. Поскольку уровень грунтовых вод меняется синхронно для близлежащих территорий, меженные расходы воды разных ручьев тесно связаны друг с другом ($r \geq 0,9$), причем чем ближе друг к другу расположены водосборы, тем больше значение коэффициента корреляции.

В табл. 1 также приведены значения формально посчитанных модулей стока – делением расходов воды на площади поверхностных водосборов. Их значения получились несоизмеримо большие по сравнению с зональными величинами. Так, для сравнения, модуль стока р. Протвы в период летней межени составляет 2 л/(с·км²), а его среднее многолетнее значение равно 7,4 л/(с·км²). Полученные меженные модули стока ручьев по своим значениям получились ближе к максимальному модулю стоку р. Протвы, равному 108 л/(с·км²) [Акименко с соавт., 2003]. Даже если бы речь шла не о меженных, а о средних многолетних модулях стока (которые всегда больше по сравнению с меженными), то

эти значения соответствуют слоям стока, равным 1200 мм для Западного Сатинского, 2550 мм для Восточного Сатинского и 1660 мм для ручья Егорова оврага. Отметим, что средний многолетний слой осадков для Сатинского учебно-научного полигона составляет 612 мм [Несмелова с соавт., 2007], поэтому столь высокие значения слоя и, соответственно, модуля стока в данных условиях невозможны. Объяснение этому феномену – именно несовпадение поверхностных и подземных водосборов ручьев. Очевидно, что вода к данным ручьям поступает со значительно большей площади, нежели территория поверхностного водосбора, выделяемая по топографической карте. Структурно-геологические условия бассейна Протвы определяются его положением на юго-западном крыле московского артезианского бассейна. Основные водоносные горизонты напорных артезианских вод приурочены к известняково-доломитовым толщам среднего карбона. На правом берегу р. Протвы наблюдается наклон водоносных слоев в сторону реки, а на левом – от реки. Изучаемые ручьи, вследствие глубокого врезания их долин, дренируют выходы подземных вод. На левом берегу выходы подземных вод из отложений карбона практически отсутствуют. В четвертичных отложениях представлены два водоупорных горизонта: верхний (московская морена) служит водоупором лишь для верховодок, а нижний горизонт (днепровская морена) служит водоупором для грунтовых вод, заполняющих межморенную толщу. В долине реки Протвы они выходят на поверхность в оврагах неглубокого врезания. Область их питания и разгрузки совпадает с поверхностным водосбором [Акименко с соавт., 2003; Рычагов, 2007].

Определить точные границы распространения подземных водоносных горизонтов, из которых исследуемые ручьи получают питание, не представляется возможным, поскольку это потребует дорогостоящих детализированных гидрогеологических измерений. Однако, если принять гипотезу о том, что модули стока близлежащих водотоков должны быть

Т а б л и ц а 1

Результаты измерений расходов воды в ручьях – притоках р. Протвы за 1999–2017 гг.

Показатель	Ручей		
	Западный Сатинский	Восточный Сатинский	Егорова оврага
Площадь поверхностного водосбора, км ²	0,72	0,50	0,51
Средний за период измерений июльский меженный расход воды, л/с	29	42	28
Среднеквадратичное отклонение, л/с	8,5	7,2	6,0
Коэффициент корреляции r между расходами воды соседних ручьев	Западный Сатинский	1	0,96
	Восточный Сатинский	0,96	1
	Егорова оврага	0,90	0,93
Средний июльский модуль стока ручья, определенный через площадь поверхностного водосбора, л/(с·км ²)	40	84	55
Условная площадь водосбора, км ²	14	20	14

Таблица 2

Средние значения концентраций компонентов солевого состава водотоков за 2009–2012 гг (мг/л)

Название водного объекта	Содержание ионов								Минерализация
	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	
р. Протва	270,4	13,01	9,65	2,21	60,34	17,7	7,27	1,9	377,8
Западный Сатинский ручей	382,6	10,1	4,5	5,33	84,2	33,6	5,6	1,6	523,5
Восточный Сатинский ручей	384,8	9,36	2,83	4,19	77,2	18,9	5,5	1,6	456,1
Ручей Егорова оврага	344,6	8,73	5,24	5,3	85,1	24,8	5,2	1,24	476,1

примерно одинаковыми, поскольку данная величина картируется в виде изолиний, то истинные модули стока ручьев, полученные делением расходов воды на реальные площади водосборов (с учетом подземных границ) должны быть близки модулям стока р. Протвы. Часто модули стока малых рек возрастают с увеличением площади бассейна, что связано с последовательным увеличением числа дренируемых водоносных горизонтов [Евстигнеев, 1990]. Однако в данном случае исследуемые ручьи впадают непосредственно в р. Протву, следовательно они дренируют те же водоносные горизонты, что и р. Протва, что позволяет принять данную гипотезу. Таким образом, деление расходов воды ручьев на модули стока р. Протвы позволяет примерно оценить площади, с которых вода должна поступать к ручьям при совпадении их условий питания с р. Протвой. Данные величины могут быть названы условными площадями водосборов. Полученные значения условных площадей водосборов данных ручьев также представлены в табл. 1. Сразу оговоримся, что мы не претендуем на высокую точность определения данных значений, поскольку условия формирования

стока р. Протвы и ее притоков могут отличаться, однако как показывают данные наблюдений на гидрологических постах других рек Подмосковья [Основные ..., 2015], модули стока рек в пределах одного бассейна обычно отличаются не более чем в 1,5–2 раза. Даже если считать, что истинные модули стока ручьев вдвое превышают модули стока р. Протвы, то реальные их водосборы более чем в 10 раз превышают поверхностные водосборы. Если же истинные модули стока ручьев ближе к модулям стока р. Протвы или меньше них, то расхождение между площадями фактических и поверхностных водосборов будет еще больше.

Водоносные горизонты, питающие данные ручьи, отличаются по химическому составу от вод р. Протвы, поскольку в реке смешиваются воды, поступающие со всего водосбора, и большой вклад вносят левые маломинерализованные притоки. Если минерализация р. Протвы в период летней межени составляет в среднем 377,8 мг/л, то для Западного Сатинского ручья ее величина равна 523,5, для Восточного Сатинского 456,1, а для ручья Егорова оврага 476,1 мг/л. Различия наблюдаются также и в соотношении между основными ионами. В ручьях концентрации гидрокарбонатов, кальция и магния выше, так как их воды формируются непосредственно на известняках. В реке же больше концентрации сульфатов, хлоридов и натрия, что говорит о поступлении в нее стоков из населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий. При этом содержание нитратов в речных водах невелико, поскольку они потребляются в процессе питания гидробионтов. В подземные водоносные горизонты нитраты проникают в результате инфильтрации поверхностных и почвенных вод. Они в большей степени подвержены нитратному загрязнению, чем поверхностные водоемы, так как в подземных водах потребитель нитратов (биота) практически отсутствует [Никаноров, 2001] (табл. 2, рис. 2).

От истоков до устьев ручьев происходит последовательная разгрузка различных водоносных горизонтов. Это сопровождается увеличением водоносности ручьев и изменением их минерализации и химического состава воды. В табл. 3 и 4 представлено

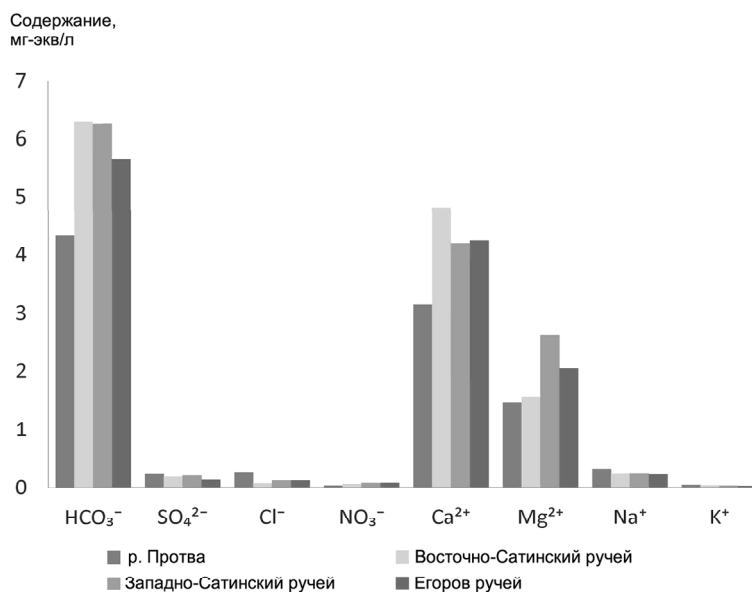


Рис. 2. Соотношение компонентов солевого состава р.Протвы и водотоков в оврагах глубокого вреза (мг-экв/л)

Fig. 2. The ratio of the salt composition components for the Protva River and the watercourses in deep-cut ravines (mg-Eq/l)

изменение расхода воды, температуры, pH, содержания кислорода и некоторых ионов по длине ручьев Егорова и Восточно-Сатинского оврагов. Видно, что на небольшом расстоянии происходит значительное увеличение водоносности ручьев. При движении от истока к устью происходит увеличение содержания кислорода и температуры, а содержание

гидрокарбонатов, сульфатов, хлоридов и pH меняется не линейно. От истока к устью увеличивается глубина вреза оврага и в русло поступают воды с более глубоких горизонтов, минерализация и содержание гидрокарбонатов в которых выше. Но в то же время из бортов оврага может поступать вода из более высоких водоносных горизонтов – грунтовых вод или верховодки, уменьшая минерализацию и концентрацию некоторых ионов далее по течению (рис. 3).

По длине водотоков обычно происходит увеличение площади водосбора. При использовании гипотезы равенства модулей стока ручьев и р. Протвы можно оценить рост условной площади водосбора ручьев от истока до устья, основываясь на данных об изменении водоносности ручьев по их длине. Полученные условные площади водосборов сопоставлены с отметками земной поверхности в створах измерений. За основу брали разницу в высоте между самой высокой точкой поверхностного водосбора и створом измерения (глубина врезания

Таблица 3

Изменение расхода, температуры воды и содержания растворенного кислорода по длине Восточного Сатинского ручья (по данным измерений в июле 2012 г.)

Расстояние от устья, м	Расход воды, л/с	O ₂ , мг/л	t, °C
230	1,75	8,14	6,7
200	5,23	9,5	6,8
100	8,84	10,15	7,0
50	14,0	11	7,8

Таблица 4

Изменение химического состава воды (мг/л) по длине ручья Егорова оврага (по данным измерений в июле 2012 г.)

Расстояние от устья, м	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	pH
225	453,99	10,06	7,29	6,49	8,31
200	496,09	7,28	1,08	1,4	7,76
164	426,53	10,04	5,71	3,87	7,54
100	435,68	9,12	5,68	7,17	8,33
0	380,7	9,43	5,54	6,34	8,3

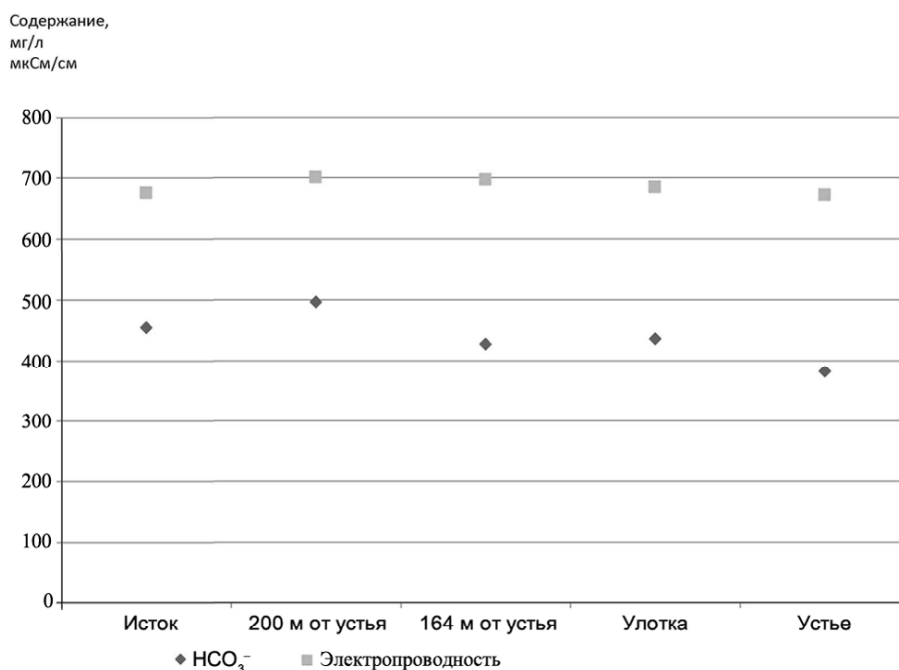


Рис. 3. Изменение содержания гидрокарбонатов (HCO₃⁻) в мг/л и электропроводности (мкСм/см) по длине Егорова ручья

Fig. 3. Change in the content of hydrocarbonates (mg/l) and conductivity (mkS/sm) along the length of the Egorov Creek

ручья). В результате выявлено линейное увеличение площади условного водосбора ручья Егорова оврага с ростом глубины врезания ручья (рис. 4). Интересно, что экстраполяция вниз данной зависимости приводит нас в начало координат. То есть при высоте, равной самой высокой точке водосбора, условная площадь водосбора равна нулю. По мере уменьшения высоты площадь эта линейно возрастает.

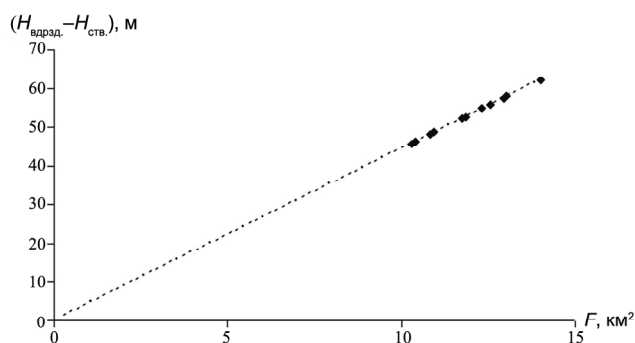


Рис. 4. Соотношение условной площади водосбора и глубины врезания ручья Егорова оврага

Fig. 4. The ratio of the nominal catchment area and the depth of incision of the Egorov Creek

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акименко Т.А., Евстигнеев В.М., Заславская М.Б. Гидрологическая характеристика р. Протвы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. 22 с.
- Амеличев Г.Н., Олиферов А.Н., Новикова Ф.Н. Гидрологические особенности р. Абдалки (Симферополь) в области питания артезианского бассейна равнинного Крыма // Уч. зап. Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2017. Т. 3(69). № 1. С. 160–175.
- Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2007. 441 с.
- Гидрогеология и инженерная геология Сибири. Новосибирск: Наука, Сибирское отд-ние, 1990. 133 с.
- ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1988. 36 с.
- Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчеты. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 304 с.
- Комлев А.М. Природные условия и водные ресурсы бассейна реки Камы (краткий обзор) // Географический вестник. 2007. Вып. 1–2. С. 73–89.
- Латыпов Т.Ф., Сучилин А.А., Болысов С.И., Деркач А.А., Глухов А.И. Карта учебного полигона УНБ «Сатино» географического ф-та МГУ им. М.В. Ломоносова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2014.
- Малые реки Волжского бассейна / Под ред. Н.И. Алексеевского. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 230 с.
- Несмелова Е.И., Сорокина В.Н., Суркова Г.В. Климатические условия Боровского района // Общегеографическая практика в Подмоскovie. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2007. С. 82–123.

Выводы:

- площади водосборов Западного Сатинского, Восточного Сатинского и ручья Егорова оврага значительно превышают площади поверхностных водосборов; поверхностные водосборы данных ручьев составляют не более 10% площади реальных водосборов;
- полученные условные площади водосборов ручьев имеют линейную возрастающую зависимость от глубины врезания ручья. Экстраполяция данного соотношения подтверждает, что нулевая площадь условного водосбора соответствует самой высокой точке поверхностного водосбора ручья;
- воды ручьев в оврагах Восточном, Западном Сатинских и Егоровом формируются в одном водоносном горизонте известняково-доломитовых толщ среднего карбона. По минерализации и составу эти воды отличаются от таковых в р. Протве. Для них характерно повышенное содержание гидрокарбонатов, кальция и магния. По мере увеличения глубины вреза в русло ручьев поступают воды более глубоких горизонтов, увеличивая карбонатность и жесткость вод. Но поскольку из бортов оврага может поступать вода из верховодки и грунтовых вод, концентрация компонентов ближе к устью уменьшается.

Никаноров А.М. Гидрохимия. Учебник. СПб.: Гидрометеиздат. 2001. 444 с.

Олиферов А.Н., Тимченко З.В. Реки и озера Крыма. Симферополь: Доля, 2005. 216 с.

Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги / Под ред. В.Ю. Георгиевского. Ливны: ФГБУ ГГИ, 2015. 467 с.

Плоткин Л.А. Карст российского Причерноморья // Краевед Черноморья, 1997. С. 80–88.

Рычагов Г.И. Геолого-геоморфологическое строение и история развития рельефа // Общегеографическая практика в Подмоскovie. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2007. С. 30–81.

Чижова Ю.Н., Буданцева Н.А., Ефимова Л.Е., Лукьянова А.Н., Суркова Г.В., Васильчук Ю.К. Изотопно-кислородный состав осадков и воды в речной системе средней Протвы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2013. № 2. С. 84–93.

Язвин А.Л. Критический обзор нормативно-правовых документов, регламентирующих изучение и использование питьевых и технических подземных вод // Разведка и охрана недр. М.: ФГУП ВИМС, 2014. № 5. С. 3–10.

Bonacci O., Magdalenic A. The Catchment Area of the Sv. Ivan Karst Spring in Istria (Croatia) // Ground Water. 1993. V. 31. № 5. P. 767–773.

Yoshida T., Masumoto T., Kubota T., Matsuda S. Water balance characteristics of Kashima plateau basins assuming variable areas of underground catchments // Paddy Water Environ. 2008. № 6. P. 189–198.

Поступила в редакцию 29.03.2018
Принята к публикации 21.05.2018

A.G. Kositskiy¹, A.N. Lukianova²

UNDERGROUND CATCHMENTS OF SMALL STREAMS OF THE SATINO TRAINING STATION AREA (THEIR SIZE AND INFLUENCE OVER THE CHEMICAL COMPOSITION OF WATER)

Field hydrological and hydrochemical studies were carried out on the streams of the Satino training station area (right tributaries of the Protva River) in the period of summer low water. It is established that underground drainage areas of the streams are more than 10 times larger than their surface ones. Linear dependence of the growth of underground drainage areas with increasing depth of stream incision is revealed. Data on mineralization and chemical composition of water in different aquifers feeding these streams were obtained.

Key words: stream, catchment area, specific discharge, mineralization, chemical composition.

REFERENCES

- Akimenko T.A., Evstigneev V.M., Zaslavskaja M.B. *Gidrologicheskaja harakteristika r. Protvy* [Hydrological description of the Protva River]. Moscow: MGU, 2003. 22 p. (in Russian).
- Amelichev G.N., Olfierov A.N., Novikova F.N. *Gidrologicheskie osobennosti r. Abdalki (Simferopol') v oblasti pitaniya artезianskogo bassejna ravninnogo Kryma* [Hydrological features of the Abdalka River (the city of Simferopol) in the catchment area of the artesian basin of the low-land Crimea] // *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografija. Geologija*. 2017. V. 3(69). № 1. P. 160–175 (in Russian).
- Bonacci O., Magdalenic A. The Catchment Area of the Sv. Ivan Karst Spring in Istria (Croatia) // *Ground Water*. 1993. V. 31. № 5. P. 767–773.
- Chizhova Ju.N., Budanceva N.A., Efimova L.E., Luk'janova A.N., Surkova G.V., Vasil'chuk Ju.K. *Izotopno-kislorodnyj sostav osadkov i vody v rechnoj sisteme srednej Protvy* [Oxygen isotopic composition of precipitation and river water in the middle reaches of the Protva River] // *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografija*. 2013. № 2. P. 84–93 (in Russian).
- Evstigneev V.M. *Rechnoj stok i gidrologicheskie raschety* [River runoff and hydrological calculations]. Moscow: MGU, 1990. 304 p. (in Russian).
- Gidrogeologija i inženernaja geologija Sibiri [Hydrogeology and engineering geology of Siberia]. Novosibirsk: Nauka, Sibirskoe otd-nie, 1990. 133 p. (in Russian).
- GOST 19179-73. *Gidrologija sushi. Terminy i opredelenija* [Land hydrology. Terms and definitions]. Gosudarstvennyj komitet SSSR po standartam, Moscow, 1988. 36 p. (in Russian).
- Jazvin A.L. *Kriticheskij obzor normativno-pravovykh dokumentov, reglamentirujushchih izuchenie i ispol'zovanie pit'evykh i tehničeskikh podzemnykh vod* [Critical review of regulatory and legal documents concerning the exploration and use of potable and industrial underground water] // *Razvedka i ohrana nedr*. Moscow: FGUP VIMS, 2014. № 5. P. 3–10.
- Komlev A.M. *Prirodnye uslovija i vodnye resursy bassejna reki Kamy (kratkij obzor)* [Natural conditions and water resources of the Kama River basin (overview)] // *Geograficheskij vestnik*. 2007. V. 1–2. P. 73–89 (in Russian).
- Latypov T.F., Suchilin A.A., Bolysov S.I., Derkach A.A., Gluhov A.I. *Karta uchebnogo poligona UNB «Satino» geograficheskogo f-ta MGU im. M.V. Lomonosova* [Map of the area of the Satino training station of the MSU Faculty of Geography]. Moscow: MGU, 2014 (in Russian).
- Malye reki Volzhskogo bassejna [Small rivers of the Volga River basin] / Ed. N.I. Alekseevskij. Moscow: MGU, 1998. 230 p. (in Russian).
- Nesmelova E.I., Sorokina V.N., Surkova G.V. *Klimaticheskie uslovija Borovskogo rajona* [Climatic conditions of the Borovsk district]. *Obshegeograficheskaja praktika v Podmoskov'e*. Moscow: MGU, 2007. P. 82–123 (in Russian).
- Nikanorov A.M. *Gidrohimiya. Uchebnik*. [Hydrochemistry. Textbook]. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 2001. 444 p. (in Russian).
- Olfierov A.N., Timchenko Z.V. *Reki i ozjora Kryma* [Rivers and lakes of the Crimea]. Simferopol': Dolja, 2005. 216 p. (in Russian).
- Osnovnye gidrologicheskie harakteristiki rek bassejna Verhnej Volgi [Principal hydrological characteristics of rivers in the Upper Volga River basin] / Ed.: V.Ju. Georgievskij. Livny: FGBU GGI, 2015. 467 p. (in Russian).
- Plotkin L.A. *Karst rossijskogo Prichernomor'ja* [Karst of the Russian Black Sea area] // *Kraeved Chernomor'ja*, 1997. P. 80–88 (in Russian).
- Rychagov G.I. *Geologo-geomorfologicheskoe stroenie i istorija razvitiya rel'efa* [Geological and geomorphological structure and history of the relief] // *Obshhegeograficheskaja praktika v Podmoskov'e*. Moscow: MGU, 2007. P. 30–81 (in Russian).
- Vsevolozhskij V.A. *Osnovy gidrogeologii* [Basics of hydrogeology]. Moscow: MGU, 2007. 441 p. (in Russian).
- Yoshida T., Masumoto T., Kubota T., Matsuda S. *Water balance characteristics of Kashima plateau basins assuming variable areas of underground catchments* // *Paddy Water Environ.* 2008. № 6. P. 189–198.

Received 29.03.2018

Accepted 21.05.2018

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Associate Professor, PhD. in Geography; e-mail: alexhydro@mail.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, engineer; e-mail: lan22-66-88@mail.ru