

УДК 556.33.62; 556.36

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНОГО СТОКА БАСЕЙНА
ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. СОТК И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА

А. О. АГИНЯН*

Кафедра гидрогеологии и инженерной геологии ЕГУ, Армения

Разработка Сотского месторождения золота представляет потенциальную угрозу загрязнения для подземных вод Масрикской котловины и оз. Севан. В статье приводятся геолого-гидрогеологические особенности формирования, а также условия движения и разгрузки подземных вод бассейна верхнего течения р. Сотк. Исследованиями установлено, что подземное питание реки осуществляется дренажными водами, формирующимися в элювиально-делювиальных отложениях, а глубинный сток формируется в подрусовых аллювиально-пролювиальных отложениях. Результаты расчетов расхода и скорости глубинного стока свидетельствуют о том, что из-за их малых значений перенос возможных загрязнителей глубинным стоком будет незначителен.

Keywords: Sotk River Basin, groundwater recharge, contamination, transport of contaminants.

Введение. Бассейн верхнего течения р. Сотк занимает восточную часть Масрикской котловины. Эта территория имеет важное значение для экономики РА ввиду разработки крупнейшего в республике месторождения золота. Одновременно эта зона входит в бассейн оз. Севан, где контроль над промышленным загрязнением водных ресурсов имеет первостепенное значение. Жидкие и твердые отходы могут распространяться поверхностными и подземными водами. В работе анализируются условия формирования, движения и разгрузки подземных вод, а также их взаимосвязь с загрязняющими рудничными отходами.

Геолого-гидрогеологические условия района исследований. Река Сотк берет свое начало у одноименного перевала с абсолютных отметок около 2500 м. Площадь водосборного бассейна реки 18,5 км², она сильно расчленена глубокими V-образными эрозионными и тектоническими долинами, склоны которых отличаются большой крутизной и покрыты травяной растительностью [1, 2]. В геологическом отношении широким распространением пользуются мезокайнозойские (J, K) интрузивные породы и покрывающие их наносные образования: элювиально-делювиальные, техногенные и аллювиально-пролювиальные отложения. Они представлены

* E-mail: hydro@ysu.am

супесчано-суглинистыми, неокатанными обломочными и песчано-гравелистыми разновидностями грунтов. Источником питания подземных вод являются атмосферные осадки, годовая сумма которых на описываемой площади составляет 500 мм, а испарение 250 мм [3]. Сильно расчлененный рельеф, незначительная пористость и трещины выветривания коренных пород вместе со структурным и геоморфологическим строением обуславливают формирование главным образом поверхностного стока.

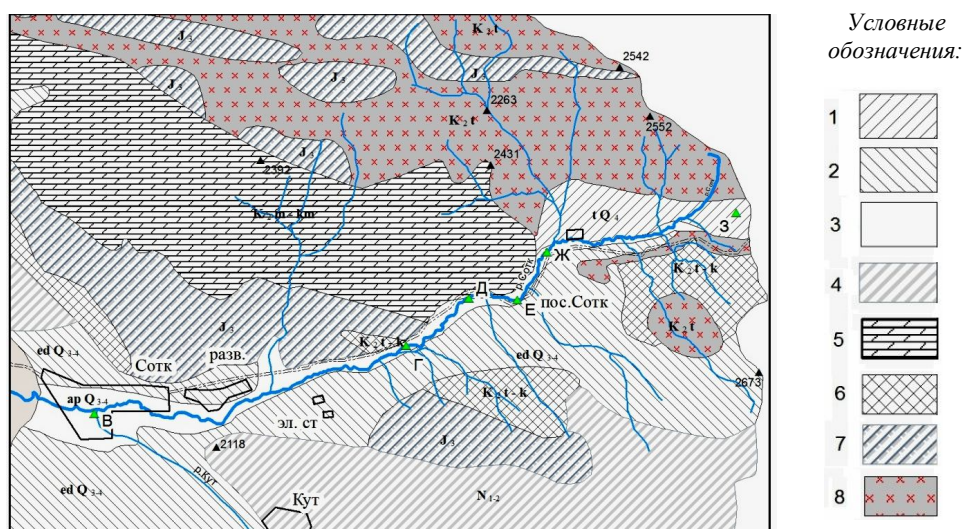


Рис. 1. Геолого-гидрогеологическая карта бассейна реки Сотк (масштаб 1:50000):

1) локально водоносный горизонт современных техногенных отложений отвалов горных выработок и карьеров (tQ_4) – обломки интрузивных и вулканогенных пород; 2) локально слабОВОдоносный горизонт верхнечетвертично-современных элювиально-делювиальных отложений ($ed Q_{3-4}$) – супеси, суглинки с содержанием обломков коренных пород; 3) водоносный горизонт верхнечетвертично-современных аллювиально-пролювиальных отложений долины р.Сотк – валуны, галька, гравий, р/з пески, суглинки, глины; 4) локально водоносный комплекс миоплиоценовых вулканических пород (N_{1-2}) – риолиты, андезиты-риолиты, трахиандезиты; 5) локально слабОВОдоносный-водоносный комплекс верхнемеловых осадочных, преимущественно карбонатных пород ($K_2 m-km$) – известняки, мергели, песчаники, конгломераты; 6) локально слабОВОдоносный водоупорный комплекс верхнемеловых осадочных, преимущественно глинистых и вулканогенных пород ($K_2 t-k$) – конгломераты, брекчи, песчаники, порфириты и их туфобрекчи; 7) водоупорный комплекс верхнеюрских сильно измененных пород (J_3) – разнообразные кристаллические сланцы, кварциты, порфириты; 8) локально слабОВОдоносный водоупорный комплекс мезокайнозойских интрузивных пород ($K_2 t, P g_2-N_1$) – перидоты, пироксениты, дуниты, габбро и габбро-диориты.

В вертикальном разрезе по условиям формирования и движения подземных вод можно выделить две подзоны: подзону грунтовых вод элювиально-делювиальных отложений и подзону порово-трещинных грунтовых вод коренных пород (осадочных и интрузивных). Вместе они составляют одну гидродинамическую зону или зону местного стока.

Атмосферные инфильтрационные воды накапливаются в трещинах зоны выветривания коренных пород и формируют безнапорные подземные потоки локального распространения. Следует отметить, что трещины в мезокайнозойских вулканогенных, вулканогенно-осадочных и осадочных

толщах, заполненные песчано-глинистыми породами, распространяются на сравнительно небольшую глубину, за исключением зон тектонических разломов. Благодаря сильной изрезанности рельефа подземные воды коренных и рыхлообломочных образований выходят на поверхность в виде многочисленных нисходящих малодебитных или сезонных родников.

По особенностям вышеперечисленных факторов, а также по типу и степени водопроницаемости и водоносности в исследованном районе выделены гидрогеологические подразделения (рис. 1). Из указанных подразделений для формирования подземного стока наибольшее практическое значение имеют 1–3 и 5 водоносные и локально-водоносные горизонты и комплексы.

Современные техногенные отложения (tQ_4) образовались в результате геологоразведочных работ и разработки рудоносных зон, залегающих на абсолютных отметках 2200 м и выше. Бывший Сотский горный перевал и его крутые склоны в настоящее время напоминают высокогорное плато, сложенное обломочными техногенными образованиями интрузивных пород. Выходы родников перекрылись этими отложениями и переместились вниз по уклону рельефа или по направлениям погребенных под техногенными отложениями долин. Мощность техногенных отложений составляет 10 м и более и в будущем будет увеличиваться в связи с разработкой рудника (рис. 2).



Рис. 2. Техногенные отложения на Сотском перевале.

Верхнечетвертично-современные элювиально-делювиальные отложения ($ed Q_{3-4}$) широко распространены в лево- и правобережных склонах и их подножьях в бассейне р. Сотк. Инфильтрационная часть осадков накапливается по направлениям отрицательных форм рельефа и разгружается на поверхности в виде рассеянных и сосредоточенных выходов родников. Преобладающая часть атмосферных осадков формирует поверхностный сток.

Верхнечетвертично-современные аллювиально-пролювиальные отложения ($ar Q_{3-4}$) в верхнем течении р. Сотк узкой полосой протягиваются в ее прирусловых частях. Источником питания подземных вод описываемого горизонта являются дренаж подземных вод коренных пород окружающих хребтов и речные воды, которые инфильтрируются через рыхлообломочные отложения и образуют подрусловый горизонт грунтовых вод. В районе рабочего поселка Сотк уровень грунтовых вод всегда ниже уреза воды в реке. В зависимости от абсолютных отметок долины они залегают на интервале глубин 4,7–10,5 м ниже поверхности земли (скв. 1, 4, 5, см. таблицу).

Верхнемеловые осадочные, преимущественно карбонатные породы ($K_2 m-km$) распространены в верхнем течении правого борта р. Сотк. Представлены толщей известняков, мергелей, песчаников и конгломератов верхнего мела, среди которых наибольшим площадным распространением пользуются известняки и мергели.

На формирование подземных вод в качественном и количественном отношении большое влияние оказывают жидкие и твердые отходы, которые образуются при эксплуатации Сотского месторождения золота. Общеизвестно, что хозяйственная деятельность человека часто приводит к нарушению природного химического состава подземных вод. Такие нарушения выявлены и на истоках р. Сотк, где образовались мощные техногенные отложения. Минерализация некоторых родников в этих областях доходит до 0,8 г/л, вместо фоновых 0,23–0,26 г/л (по данным фондовых материалов до 1979 г.). Несомненно, повышенная минерализация обусловлена благоприятными условиями по легкому выносу вещества из разработанных техногенных отложений.

Описание разрезов скважин, пробуренных в рабочем поселке Сотк в 2005г.

Интервалы, м		Скважина № 1, абс. отметка 2183,5 м
от	до	
0	0,3	почвенно-растительный слой
0,3	10,9	плохоокатанные обломки с песчаным заполнителем
10,9	12,5	глина пластичная
12,5	13	интрузивные породы (габбро)
<i>уровень грунтовых вод – 10,5 м (2173 м) ниже поверхности земли (28.03.2005г.)</i>		
от	до	скважина № 4, абс. отм. 2175,5 м
0	9	плохоокатанные обломки, галька, гравий с песчаным заполнителем
9,0	15,1	глина пластичная
15,1	15,5	интрузивные породы (габбро)
<i>уровень грунтовых вод – 8,0 м (2167,5 м) ниже поверхности земли (31.03.2005г.)</i>		
от	до	скважина № 5, абс. отм. 2177,0 м
0	4,8	плохоокатанные обломки, галька, гравий с песчаным заполнителем
4,8	9,2	глина пластичная
9,2	9,5	интрузивные породы (габбро)
<i>уровень грунтовых вод – 4,7 м (2172,3 м) ниже поверхности земли (05.04.2005г.)</i>		

Известно, что большие участки загрязненных подземных вод создаются вблизи накопителей твердых и жидких отходов, используемых для сбора, хранения или испарения жидких или твердых отходов производства. В зависимости от характера производства вместе со стоками в подземные воды могут перейти тяжелые металлы, фенолы, цианиды, хлориды и др. Вещества, не подвергшиеся физико-химическим изменениям в подземных водах, могут перемещаться в пласте неопределенно долгое время. Поскольку загрязненные подземные воды вместе с фильтрационным потоком перемещаются в водоносной среде, основной задачей наших исследований является оценка изменения качества подземных вод и прогноз времени массопереноса в пространстве.

Поступающие в водоносный пласт загрязненные сточные воды, атмосферные осадки и поверхностные воды поршневым вытеснением чистых подземных вод перемещаются в пласте по направлению общего фильтрационного потока [4–7]. Существует возможность распространения загрязнений в водоносном пласте и при отсутствии фильтрационного течения – путем молекулярной диффузии. Однако это перемещение происходит настолько медленно, что при прогнозах распространения загрязнения может не учитываться [4]. Загрязненные сточные воды часто отличаются от подземных вод не только по химическому составу, но и по физическим свойствам – плотности и вязкости.

В частности, более загрязненные воды погружаются в нижнюю часть пласта и продвигаются быстрее, чем в верхней его части. Более легкие загрязненные воды задерживаются преимущественно в верхней части пласта. Граница между загрязненными и чистыми подземными водами деформируется, приобретая в горизонтальном пласте наклонное положение.

Для определения фронта фильтрации загрязненных жидкостей или загрязнителей в водоносных горизонтах выделяются следующие типы фильтрационных потоков [4, 6]:

- 1) естественные потоки подземных вод в невозмущенных природных водоносных горизонтах;
- 2) потоки, вызванные эксплуатацией водозаборов подземных вод;
- 3) потоки, обусловленные действием бассейнов, хранилищ и промстоков, просачивающиеся в природные водоносные горизонты;
- 4) сложные потоки, формирующиеся в результате взаимодействия указанных частных потоков.

Из отмеченных типов для определения фронта фильтрации для условий долины р. Сотк принят естественный поток подземных вод в невозмущенных водоносных горизонтах. До впадения в р. Масрик отсутствуют водопонижающие сооружения с суммарным расходом более 5 л/с. Отбираемое количество грунтовых вод для водоснабжения с. Сотк по сравнению с естественными ресурсами незначительно и не играет практической роли для водопонижения слабонапорных и напорных водоносных горизонтов Масрикской котловины.

Гидравлическая взаимосвязь между напорными горизонтами Масрикской котловины и р. Масрик, где происходит усиленная разгрузка подземных вод, установлена на участке от с. Масрик до оз. Севан. Поэтому для прогноза времени распространения возможных загрязнителей от очага загрязнения выбрана верхняя часть долины р. Сотк, протягивающаяся от рабочего пос. Сотк до места слияния рек Сотк и Масрик.

Скорость фильтрации подземных вод определяется по известной формуле Дарси [4, 5]: $v = K_{\phi}(H_2 - H_1)/l = K_{\phi}I$, где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, м/сут., $H_2 - H_1$ – перепад напоров подземных вод на расчетном участке, м; l – длина расчетного участка, м; I – гидравлический уклон.

В зависимости от значений гидравлического уклона и K_{ϕ} водовмещающих пород расчетный отрезок длиной 7,8 км разбит на 2 участка. Первый, длиной 2000 м, находится между раб. пос. Сотк (очаг загрязнения) и точкой Д (рис. 1). Гидравлический уклон подземных вод здесь 0,015 (перепад напоров 30 м), $K_{\phi} = 33$ м/сут. Скорость фильтрации подземного стока составит $v = K_{\phi}I = 0,5$ м/сут., а прогнозное время движения возможных загрязнителей до точки Д составит 4000 сут. или 11 лет. Второй участок длиной 5800 м расположен между точками Д и В (рис. 1). Точка В является восточной границей Масрикской котловины и точкой слияния рек Кут и Сотк. Гидравлический уклон бассейна $I = 0,023$ (перепад напоров 137,5 м), а K_{ϕ} водовмещающих пород 20,6 м/сут. Скорость фильтрации подземного стока составит $v = 0,47$ м/сут., а прогнозное время – 12340 суток или 33 года.

В этих условиях важное значение приобретает определение подземного стока, который уходит за пределы исследуемой территории. Он нами определен по формуле общего водного баланса:

$$W = O - (I + C_p) \quad (\text{млн } m^3/\text{год}), \quad (1)$$

где W – подземный сток, O – осадки, I – испарение, C_p – речной сток. Значения климатических параметров на исследованной территории площадью $18,5 \text{ км}^2$ составляют: $O = 18,5 \cdot 0,5 = 9,25$; $I = 18,5 \cdot 0,25 = 4,625$ (млн $m^3/\text{год}$), C_p определен по гидрологическим картам по модулю поверхностного стока, который здесь составляет $7,5 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$, $C_p = 18,5 \cdot 7,5 = 138,75 \text{ л}^3/\text{с}$ или $4,38$ млн $m^3/\text{год}$ [3]. Подставляя значения указанных гидрометеорологических элементов в формулу (1), получаем, что подземный сток составляет $W = 0,25$ млн $m^3/\text{год}$ или $7,9 \text{ л/с}$. Возможное направление движения подземного стока, по нашему предположению, проходит по узкой долине р. Сотк через аллювиально-пролювиальные подрусловые отложения.

Из приведенных расчетов следует, что лишь 2,7% атмосферных осадков подземным путем уходит за пределы исследованного участка или Сотского месторождения. Остальная часть разгружается в виде малодобитных родников и дренажного стока в оврагах или руслах рек до расчетного створа. В действительности, полевыми исследованиями установлено, что расход ручейков, несмотря на отсутствие родников, увеличивается по пути потока. Фактическими гидрометрическими замерами установлено, что увеличение расхода левобережного притока р. Сотк на расстоянии 193 м составляет 47 л/с . Замеры были проведены при отсутствии боковых притоков поверхностного стока. В отмеченных условиях приращение (увеличение) стока реки возможно только благодаря дренированию подземных вод в русло реки. Следовательно, ресурсы подземных вод, формирующиеся на истоке р. Сотк или на площади Сотского месторождения золота, в основном разгружаются на поверхности до замыкающего створа у пос. Сотк.

Выводы. Формирование химического состава подземных вод на территории верхнего течения р. Сотк обусловлено природными и техногенными факторами. Прогнозное время движения подземного стока от истоков р. Сотк до ее нижнего течения составляет 44 года.

При размещении золотоизвлекательной фабрики на площади верхнего течения р. Сотк вместе с подземными водами могут разгружаться промстоки, обогащенные вредными химическими элементами. В результате загрязнение будет распространяться непосредственно р. Сотк и достигнет оз. Севан намного быстрее, чем указано в расчетах. Это необходимо учитывать при проектировании накопителей твердых и жидких отходов, обеспечивая их полную изоляцию от геологической среды (подземных и поверхностных вод).

Поступила 29.10.2014

ЛИТЕРАТУРА

1. Геология Армянской ССР. Т. 1, Геоморфология. Ер.: Изд-во АН Арм. ССР, 1962, сс. 90–97, 127, 453.
2. Геология Армянской ССР. Т. 8: Гидрогеология. Ер.: Изд-во АН Арм. ССР, 1974, с. 119–123.
3. Гидрологический атлас Армении. Ер.: Изд-во АН РА, 1990, 68 с.
4. Бочевер Ф.М. и др. Защита подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1979, с. 154–176.
5. Гольдберг В.М. Методическое руководство по охране подземных вод от загрязнения. М.: СЭВ, 1979, с. 28–32.

6. **Гольдберг В.М.** Изучение загрязнения подземных вод в природных условиях на полигонах. В кн.: Изучение загрязнения подземных вод на опытно-производственных полигонах. Сб. науч. трудов, М.: ВСЕГИНГЕО, 1990, с. 5–13.
7. **Фрид Ж.** Загрязнение подземных вод. М.: Недра, 1981, с. 56–92.

Ա. Հ. ԱՂԻՆՅԱՆ

ՍՈՒԹՔ ԳԵՏԻ ՎԵՐԻՆ ՀՈՍԱՆՔԻ ԱՎԱԶԱՆԻ ՍՏՈՐԵՐԿՐՅԱ ՀՈՍՔԻ
ՁԵՎԱՎՈՐՄԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԵՎ ԴՐԱ
ԱՂՏՈՏՄԱՆ ՀԱՎԱՆԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆՆ ԸՆԿՈՒ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԻ
ՇԱՀԱԳՈՐԾՈՒՄԻՑ

Ա մ փ ո փ ո մ

Սոթքի ոսկու հանքավայրի շահագործումն իրենից ներկայացնում է պոտենցիալ վտանգ Մասրիկի գոգահովտի ստորերկրյա ջրերի և Սևանա լճի աղտոտման տեսանկյունից: Հողվածում ներկայացված է Սոթք գետի վերին հոսանքի ավազանի ստորերկրյա ջրերի ձևավորման երկրաբանա-ջրատերաբանական առանձնահատկությունները, ինչպես նաև դրանց շարժման և բեռնաթափման պայմանները: Հետազոտությունների արդյունքում հաստատվել է, որ գետի ստորերկրյա սնումը կատարվում է էլյուվիալ-դելյուվիալ նստվածքներում ձևավորված ստորերկրյա ջրերի ցամաքուրդից, իսկ խորքային հոսքը ձևավորվում է ենթահունային ալյուվիալ-պրոլյուվիալ նստվածքներում: Խորքային հոսքի ծախսի և արագության հաշվարկները վկայում են այն մասին, որ ի շնորհիվ դրանց փոքր նշանակությունների, հնարավոր աղտոտիչների տեղափոխումը կլիմի աննշան:

A. H. AGHINIAN

SPECIFICS OF GROUNDWATER FLOW FORMATION IN THE UPPER
STREAMS BASIN OF THE SOTK RIVER AND ITS CONTAMINATION
POSSIBILITIES FROM OPERATION OF SOTK GOLD MINE

Summary

Mining of Sotk gold deposit is a potential threat to groundwater contamination of the Masrik basin and Lake Sevan. The article presents geological-hydrogeological specifics of formation, transit and discharge of groundwater in the upper streams of the Sotk River. According to studies, the river's recharge from groundwater is related to drainage waters occurring in eluvial-deluvial sediments. Deeper ground water flow occurs under riverbed, in alluvial-proluvial sediments. Hydrogeological assessment has shown that the velocity and flow rate of groundwater flow are too small and do not contribute to the transport of contaminants through groundwater in considerable amounts.