

**Мониторинг состояния почвы, воздуха, воды**

УДК 504.064.2

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ  
НА КАЧЕСТВО ВОДЫ РЕК**

*Л. А. Маргарян*

Центр экологической безопасности, Ереванский государственный университет, Ереван,  
Армения, e-mail: [liana\\_margaryan@yahoo.com](mailto:liana_margaryan@yahoo.com)

Поступила в редакцию 10.04.2017 г.

Исследовались изменения качества воды реки Вохчи под влиянием горнодобывающей промышленности. В бассейне реки Вохчи расположено три больших медно-молибденовых и золото-полиметаллических месторождения, два действующих и три рекультивированных хвостохранилища. Сточные воды горно-обогатительных комбинатов, а также проточные воды хвостохранилищ попадают в реку Вохчи, загрязняя ее воды высоким количеством молибдена, марганца, железа, меди, цинка, хрома и т.д. Многолетние гидрохимические исследования показали, что за семь лет качество воды в средних и нижних стоках реки резко ухудшилось. Из-за высокого содержания тяжелых металлов, воды в этой части реки стали непригодными и токсичными для орошения.

*Ключевые слова:* тяжелые металлы, горнодобывающая промышленность, сточные воды, орошение.

**ВВЕДЕНИЕ**

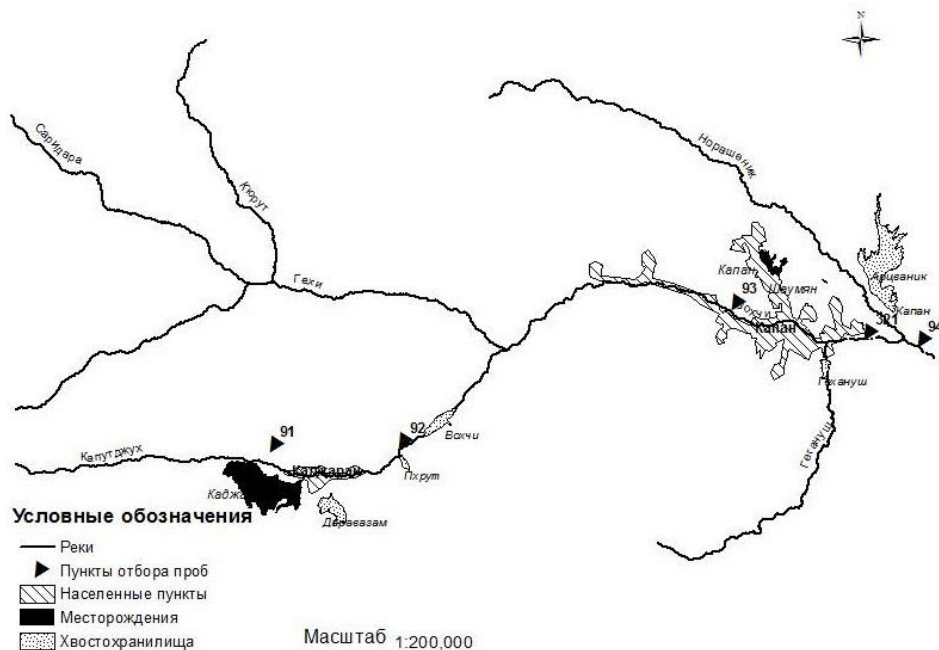
Горнодобывающая промышленность является одним из основных секторов экономики Армении, а также одним из ключевых источников загрязнения окружающей среды [1]. Армения является крупным производителем молибдена и меди, что ведет к загрязнению ее поверхностных и подземных вод, почвы и воздуха избытком тяжелых металлов. Только на территории бассейна реки Вохчи, площадь которого 1240,5 км<sup>2</sup> [2], находятся два крупнейших горнодобывающих комбината: Зангезурский медно-молибденовый и Капанский горно-обогатительный. Комбинаты эксплуатируют медно-молибденовые (Каджаран, Капан) и золото-полиметаллические (Шаумян) месторождения Сюникского региона (рис. 1) [3].

Каджаранское медно-молибденовое месторождение расположено на правом берегу реки Вохчи, недалеко от города Каджаран. Из этой части реки Зангезурский медно-молибденовый комбинат ежегодно отбирает около 65,3 млн. м<sup>3</sup> воды для промышленных нужд [3]. Ниже по течению реки находятся рекультивированные хвостохранилища Даравазам, Пхрут и Вохчи (рис. 1). Из-за обильных осадков и отсутствия природоохранных мер, со временем эти рекультивированные хвостохранилища местами разрушились, на их поверхности появились каналы и трещины. В результате, захороненные

индустриальные хвосты выводятся на поверхность и вместе с осадками регулярно попадают в реку Вохчи [3].

Вниз по течению реки Вохчи, на ее левом берегу, вблизи города Капан, находятся месторождения Капан и Шаумян, которые эксплуатируются Капанским горно-обогатительным комбинатом (рис. 1). Комбинат использует закрытую водную систему, а промышленные сточные воды рудного выщелачивания транспортирует в хвостохранилище Гегануш, расположенное в ущелье реки Гегануш, правого притока реки Вохчи [3]. Несмотря на наличие закрытого водного цикла, Капанский комбинат часть неочищенных промышленных сточных вод (ежегодно около 200 тыс. м<sup>3</sup>) из шахты Шаумянского месторождения перенаправляет в реку Норашеник, левый приток реки Вохчи [3].

И наконец, в низовье реки Вохчи, находится одно из самых больших в мире хвостохранилищ - хвостохранилище Арцваник (рис. 1), объем которого составляет 310 млн. м<sup>3</sup> [4]. Сюда по трубам перенаправляются промышленные сточные воды Зангезурского медно-молибденового комбината. Ежегодно в хвостохранилище сбрасываются 14 млн. тонн отходов, смешанных с 40 млн. м<sup>3</sup> воды [4]. Из-за регулярных утечек и аварий трубопровода, промышленные сточные воды непосредственно попадают в реку Вохчи и прилегающие территории, загрязняя реку и сельскохозяйственные земли.



**Рис. 1.** Карта-схема бассейна реки Вохчи.

В результате регулярных сбросов промышленных сточных вод в реку Вохчи и ее притоки, воды этих рек интенсивно загрязняются большим количеством тяжелых металлов, в частности, меди, молибдена, цинка, железа, хрома, марганца и т.д. Воды с высоким содержанием металлов непригодны и опасны для использования в хозяйственной деятельности (орошение, рыбоводство, рекреация). В связи с этим целью данной работы являлась оценка

изменения качества воды реки Вохчи и пригодности ее использования для орошения как следствие деятельности горнодобывающей промышленности.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Отбор проб, их консервирование и измерение параметров проводились согласно ISO и EPA стандартам [5], измерялось количество тяжелых металлов, минерализация, электропроводимость и содержание главных ионов. Гидрохимические исследования проводились в период с 2007 г. по 2015 г. в 5 мониторинговых пунктах наблюдений, которые находятся на реке Вохчи: № 91 в 1,7 км выше г. Каджаран, № 92 в 1,8 км ниже г. Каджаран, № 93 в 6,8 км выше г. Капан, № 321 в черте города Капан, вблизи Капанского аэропорта, № 94 в 0,8 км ниже города Капан, после падения притоков Арцваник, Норашиеник и Гегануш (карта-схема расположения пунктов отбора проб приведена на рис. 1). Всего было отобрано 377 проб воды. В лаборатории пробы фильтровались S-Рак 0,45мкм мембранными фильтрами диаметром 47мм, марки Merck Millipore, и консервировались раствором 1% азотной кислоты. Для достоверности качества анализа и исключения влияния состава фильтра на содержание металлов в пробе воды, предварительно был проведен ряд контрольных тестов.

В фильтрованных пробах воды ИСП (с ионизацией в индуктивно-связанной плазме) масс-спектрометрическим методом в растворенном виде измерялись металлы As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, V, Zn [6]. Для анализов были использованы деионизированная вода с удельной электропроводимостью  $18,2 \text{ мегаом} \cdot \text{см}^{-1}$ , азотная кислота (марки CORCO CHEMICAL CORP., US) двойной дистилляции и раствор индия с концентрацией 10 мг/л (марки Perkin Elmer US) в качестве внутреннего стандарта. Все используемые стандартные растворы металлов были марки Fisher ChemAlert, US. Для ИСП масс-спектрометрического анализа в качестве газа-носителя был использован 99,998% аргон («УРАЛТЕХГАЗ», РФ).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам многолетнего гидрохимического мониторинга оценивалась динамика изменений содержания металлов в воде реки Вохчи. В таблице 1 приведены результаты исследований содержания металлов в воде реки. По полученным данным, содержание тяжелых металлов в воде реки можно ранжировать следующим образом в порядке возрастания:



Из перечисленных металлов в воде средних и нижних стоков реки Вохчи в высоких количествах содержатся молибден, марганец, железо и медь. Исследования показывают, что после сбросов в реку промышленных сточных вод Зангезурского комбината, образующихся вследствие атмосферных осадков из открытого карьера, в воде средних стоков реки до 6 раз поднимается концентрация молибдена, до 4 раз – марганца и меди, а также в малых количествах концентрации других исследуемых металлов. В нижних стоках реки, вблизи города Капан, после падения притоков Норашиеник, Гегануш и

Арцваник, которые содержат в себе индустриальные отходы Капанского комбината, а также фильтрованные и проточные воды Арцваникского хвостохранилища, в воде реки Вохчи резко возрастает содержание молибдена и марганца (~ в 110 раз), меди и цинка (~ в 65-68 раз), кадмия и кобальта (~ в 45 раз), хрома и свинца (~ в 21 раз), селена, железа и ванадия (в 8,8-9,7 раза), а также в малых количествах возрастает содержание никеля и мышьяка (в 2,6-3,7 раза).

По данным гидрохимических исследований, за последние семь лет в реке Вохчи постепенно увеличивается содержание молибдена, марганца, меди, мышьяка, свинца, хрома, которые накапливаются в иле реки по всему стоку. По сравнению с 2007-2008 гг., в 2015г. в воде средних и нижних стоков реки содержание молибдена выросло в 3,4 раза, содержание марганца – 2,3 раза, меди – 2,1 раза и цинка – 1,3 раза.

В данной работе для реки Вохчи был определен уровень загрязненности воды и ее пригодность к использованию в сельском хозяйстве. Результаты оценки приведены в таблице 1 и 2.

**Таблица 1.** Содержание тяжелых металлов в реке Вохчи, 2007-2015 гг.

| Металлы, мг/л | ПДК<br>ФАО,<br>мкг/л | Номер пункта наблюдения |                    |                    |                       |                           |
|---------------|----------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|---------------------------|
|               |                      | № 91                    | № 92               | № 93               | № 321                 | № 94                      |
| As            | <b>100</b>           | 0,75-1,20               | 1,42-1,50          | 1,85-2,37          | 1,09-1,39             | 1,38-1,98                 |
| Cd            | <b>10</b>            | 0,03-0,11               | 0,14-0,27          | 0,13-0,16          | 0,79-1,07             | 1,04-1,34                 |
| Co            | <b>90</b>            | 0,06-0,11               | 0,19-0,24          | 0,13-0,25          | 2,65-3,48             | 1,72-2,74                 |
| Cr            | <b>100</b>           | 0,46-1,32               | 0,69-1,47          | 0,55-1,97          | 0,73-10,01            | 1,38-3,77                 |
| Cu            | <b>200</b>           | 3,01-4,12               | 10,03-14,97        | 5,50-14,10         | 124,43- <b>195,45</b> | 111,96-<br>128,01         |
| Fe            | <b>5000</b>          | 40-60                   | 80-170             | 80-230             | 220-350               | 190-320                   |
| Mn            | <b>200</b>           | 3,43-5,95               | 15,86-20,96        | 7,23-14,34         | <b>148,34-364,73</b>  | <b>149,35-<br/>252,78</b> |
| Mo            | <b>10</b>            | 4,50- <b>12,02</b>      | <b>35,70-70,30</b> | <b>31,55-76,52</b> | <b>14,56-24,61</b>    | <b>116,03-<br/>508,42</b> |
| Ni            | <b>200</b>           | 0,77-1,52               | 0,92-2,09          | 0,91-1,60          | 1,15-2,82             | 1,94-2,79                 |
| Pb            | <b>5000</b>          | 0,06-0,25               | 0,27-0,44          | 0,29-0,32          | 0,33-1,14             | 0,31-0,92                 |
| Se            | <b>20</b>            | 0,33-2,72               | 3,65-5,50          | 1,23-2,54          | 1,12-3,19             | 1,10-1,96                 |
| V             | <b>100</b>           | 0,27-0,48               | 0,82-1,00          | 1,14-1,34          | 0,79-1,06             | 1,24-2,57                 |
| Zn            | <b>2000</b>          | 2,25-6,09               | 4,53-10,13         | 2,47-4,98          | 85,25-154,41          | 95,98-108,63              |

**Таблица 2.** Допустимость использования воды реки Вохчи для орошения по гидрохимическим показателям

| Номер пункта наблюдения | Показатели                |                      |                           |
|-------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|
|                         | Индекс водопроницаемости  | Гидрокарбонаты, мг/л | * SAR <sub>adj</sub>      |
| № 91                    | без ограничений           | умеренно             | ограниченное употребление |
| № 92                    | без ограничений           | умеренно             | ограниченное употребление |
| № 93                    | без ограничений           | умеренно             | ограниченное употребление |
| № 321                   | не допустимо для орошения | умеренно             | ограниченное употребление |
| № 94                    | не допустимо для орошения | умеренно             | ограниченное употребление |

\* соотношение доли адсорбированного натрия и электропроводности

Для тщательной и полной оценки приемлемости использования воды реки в ирригации, была проведена классификация по международным нормам качества орошаемой воды, принятых ФАО (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН) [7]. Для этого также определялись доля адсорбированного натрия (SAR), натриевый риск (Na%) и индекс водопроницаемости.

Согласно результатам проведенной оценки, из-за высокого содержания некоторых тяжелых металлов, в частности, молибдена и марганца в пунктах наблюдений № 321 и № 94, вода в нижних стоках реки Вохчи не соответствует принятым стандартам ФАО для орошения. Такая вода может быть токсична для почвы и сельскохозяйственных угодий и нуждается в дальнейших токсикологических исследованиях для выявления уровня ее токсичности [8].

По оценочным данным индекса водопроницаемости, воды реки Вохчи в верхних и средних стоках полностью допустимы для использования в целях орошения. Но в нижних стоках, из-за высокой минерализации, вода реки не пригодна для орошения. По оценке соотношения доли адсорбированного натрия и электропроводимости ( $SAR_{adj}$ ) (табл. 2), воды реки можно использовать с ограниченным употреблением, из-за сравнительно высокого содержания сульфатов и натрия. Согласно проведенной оценке, воды реки Вохчи по содержанию гидрокарбонатов также рекомендуется использовать для орошения умеренно, без злоупотреблений, поскольку избыточное количество воды приведет к ускорению процессов засоления почвы.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, из-за деятельности Зангезурского и Капанского горно-обогатительных комбинатов воды реки Вохчи загрязнены высоким содержанием молибдена, марганца, меди, цинка, железа и ванадия. Вследствие продолжительного загрязнения нижних стоков реки в воде концентрации молибдена (в 50 раз) и марганца (в 1,2 раза) превысили ПДК ФАО для оросительной воды. Оценка качества воды по оросительным гидрохимическим показателям показала, что нижние стоки воды реки Вохчи не приемлемы и токсичны для орошения.

Список литературы:

1. Mining in Armenia // Zoë Environment Network. Geneva: International Environment House, 2012. P. 32.
2. Чилингарян Л.А., Мнацаканян Б.П., Агабабян К.А., Токмаджян О.В. // Гидрография рек и озер Армении. Ереван: Агропресс, 2002. С. 50.
3. План управления Южного бассейна Армении // Программа Чистая энергия и вода. Ереван: USAID, 2015. С. 267.
4. Results of Soil and Water Testing in Kindergartens and Schools of Kajaran and Artsvanik Communities, Syuniq Marz, Republic of Armenia // AUA CRM. Yerevan: CRM, 2016. P. 33.
5. Фомин Г.С. // Вода: контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. М.: Изд-во Энц. справочник, 2000. С. 370.
6. Standard methods for the examination of water and wastewater // 20th edition USA. Edited by Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenberg, Andrew D. Eaton. 1998. P. ii-4.11.

7. Ayser R.S., Westcot D.W. // Water quality for agriculture. Italy: FAO and UN, 1994 <http://www.fao.org/docrep/003/t0234e/t0234e00.htm> (дата обращения 10.04.2017).
  8. Gupta U.C., Gupta S.C. // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 1998. V. 29, Issue 11-14. P. 1491.
- 

## IMPACT OF MINING INDUSTRY FACILITIES ON RIVER WATER QUALITY

*L. A. Margaryan*

Ecological Safety Center, Yerevan State University, Yerevan, Republic of Armenia  
e-mail: liana\_margaryan@yahoo.com

Received April 10, 2017

**Abstract** – The changes in water quality of the Voghji River (Republic of Armenia) under the influence of mining industry facilities were studied. Three large copper-molybdenum and gold-polymetallic deposits, as well as two operating and three reclaimed tailing dumps are located in the Voghji River basin. Wastewater of the mining and refining facilities together with lotic water of tailings falls into the Voghji River, contaminating it with high levels of molybdenum, manganese, iron, copper, zinc, chromium, etc. The long-term hydrochemical study revealed that the water quality of the middle and lower streams of the river had been continuously contaminated within seven years. Due to the high levels of heavy metals, the water in this part of the river might be unsuitable and toxic for irrigation use.

*Keywords:* heavy metals, mining industry, wastewater, irrigation.