

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА БИОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ СЕРОВОДОРОДА

Докт. техн. наук СЕДЛУХО Ю. П., асп. СТАНКЕВИЧ Ю. О.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: yuri.sedlukho@gmail.com

Рассмотрены проблемы и особенности биохимического удаления сероводорода из подземных вод. Проведен анализ существующих методов очистки подземных вод от сероводорода, установлены недостатки их физико-химической очистки. При использовании аэрационных методов удаления сероводорода за счет его частичного химического окисления кислородом воздуха происходит образование коллоидной серы, придающей воде мутность и опалесценцию. Кроме этого, происходящее в процессе аэрации нарушение сульфидно-карбонатного равновесия в связи с десорбцией H_2S и CO_2 часто приводит к зарастанию насадок дегазаторов образующимся $CaCO_3$, что вызывает серьезные эксплуатационные трудности. Химические методы требуют сравнительно большого расхода, сложного реагентного хозяйства, складских помещений и транспортных расходов.

С точки зрения очистки сероводородсодержащих подземных вод, наибольший интерес вызывает биохимический метод. Сдерживающими факторами широкого применения этого метода являются его недостаточная изученность и необходимость проведения специальных изысканий для определения оптимальных технологических параметров при очистке подземных вод конкретного источника водоснабжения. В основе биохимических методов окисления соединений серы лежат естественные биологические процессы, обеспечивающие круговорот серы в природе. Двухстадийный механизм окисления сероводорода серобактериями (*Beggiatoa*) был установлен С. Н. Виноградским: на первой стадии сероводород окисляется до элементарной серы, которая в виде глобул накапливается в протоплазме, а на второй стадии при недостатке сероводорода серобактерии начинают окислять внутриклеточную серу до серной кислоты.

В статье приведены результаты технологических испытаний крупномасштабных пилотных установок биохимической очистки подземных вод от сероводорода в полупроизводственных условиях. Установлены зависимости изменения показателей качества воды по ступеням очистки при разных скоростях фильтрования.

Ключевые слова: сероводород, биохимическое удаление, биореактор.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. 16 назв.

INVESTIGATIONS ON BIOCHEMICAL PURIFICATION OF GROUND WATER FROM HYDROGEN SULFIDE

SEDLUKHO Yu. P., STANKEVICH Yu. O.

Belarusian National Technical University

The paper considers problems and features of biochemical removal of hydrogen sulfide from ground water. The analysis of existing methods for purification of ground water from hydrogen sulfide has been given in the paper. The paper has established shortcomings of physical and chemical purification of ground water. While using aeration methods for removal of hydrogen sulfide formation of colloidal sulfur that gives muddiness and opalescence to water occurs due to partial chemical air oxidation. In addition to this violation of sulfide-carbonate equilibrium taking place in the process of aeration due to desorption of H_2S and CO_2 , often leads to clogging of degasifier nozzles with formed $CaCO_3$ that causes serious operational problems. Chemical methods require relatively large flow of complex reagent facilities, storage facilities and transportation costs.

In terms of hydrogen sulfide ground water purification the greatest interest is given to the biochemical method. Factors deterring widespread application of the biochemical method is its insufficient previous investigation and necessity to execute special research in order to determine optimal process parameters while purifying groundwater of a particular water supply source. Biochemical methods for oxidation of sulfur compounds are based on natural biological processes that ensure natural sulfur cycle. S. Vinogradsky has established a two-stage mechanism for oxidation of hydrogen sulfide with sulfur bacteria (*Beggiatoa*). The first stage presupposes oxidation of hydrogen sulphide to elemental sulfur which is accumulating in the cytoplasm in the form of globules. During the second stage sulfur bacteria begin to oxidize intracellular sulfur to sulfuric acid due to shortage of hydrogen sulfide.

The paper provides the results of technological tests of large-scale pilot plants for biochemical purification of groundwater from hydrogen sulfide in semi-industrial conditions. Dependences of water quality change on purification phases with various filtration rate have been determined in the paper.

Keywords: hydrogen sulfide, bio-chemical removal, bioreactor.

Fig. 3. Tab. 1. Ref.: 16 titles.

Введение. На территории бывшего СССР, согласно данным Л. А. Яроцкого [1], находится около 150 крупных месторождений сероводородных подземных вод в более чем 30 областях. Месторождения таких вод встречаются в Московской и Псковской областях, в Краснодарском крае, ряде регионов Урала. В Республике Беларусь также есть месторождения сероводородных вод, однако их масштабы незначительны. Изучением сероводородных вод Браславского района занимался А. В. Кудельский [2]. Источники сульфидных подземных вод распространены в Словакии, Венгрии, Польше, Украине, США, Германии.

Использование данных запасов сероводородных вод, учитывая их специфические свойства и сложность очистки, для хозяйственно-питьевых целей весьма ограничено. Это приводит к необходимости поиска альтернативных источников водоснабжения. Для многих населенных пунктов это весьма затруднительно ввиду удаленности таких источников и высокой себестоимости водоподготовки и транспортировки воды. Решение данной проблемы заключается в возможности использования местных запасов сероводородных вод после соответствующей обработки. Однако существующие технологии либо неэффективны, либо являются весьма дорогостоящими.

Анализ существующих методов очистки подземных вод от сероводорода. Сероводород (H_2S) в обычных условиях представляет собой бесцветный газ с характерным запахом тухлых яиц. Употребление воды с высокими концентрациями сероводорода приводит к ухудшению памяти, бронхитам, фурункулезу, конъюнктивиту [3]. Его наличие в воде вызывает коррозию и зарастание металлических трубопроводов, разрушение растровых соединений труб и бетонных сооружений.

Растворенный в воде сероводород – это суммарное содержание недиссоциированных молекул газообразного H_2S , ионов гидросульфида HS^- и, весьма редко, сульфидов S^{2-} (при $pH > 10$). Соотношение определяется, главным

образом, величиной pH воды, в меньшей степени влияют температура и минерализация [4]. При обычных значениях pH подземных вод относительно небольшое его изменение (даже на единицу) может изменить соотношение молекулярно растворенного H_2S и ионно-растворенного HS^- в 5–10 раз.

Существующие методы удаления сероводорода из воды можно разделить на две основные группы: физико-химические и биологические (биохимические). Аэрация в качестве самостоятельного метода очистки сероводородных вод возможна при небольших концентрациях сероводорода и низких значениях pH воды. При $pH > 8$ более 90 % сероводорода находится в виде гидросульфидного иона HS^- , удаление которого дегазацией невозможно [4]. При использовании аэрационных методов удаления сероводорода за счет его частичного химического окисления кислородом воздуха происходит образование коллоидной серы, придающей воде мутность и опалесценцию [5]. Поэтому после аэрации возникает необходимость доочистки воды с применением коагулянтов, флокулянтов, процессов осветления и фильтрования. Кроме этого, происходящее в процессе аэрации нарушение сульфидно-карбонатного равновесия в связи с десорбцией H_2S и CO_2 часто приводит к зарастанию насадок дегазаторов образующимся $CaCO_3$, что вызывает серьезные эксплуатационные трудности [6–9].

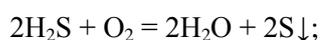
При химических методах удаления сероводорода наибольшее применение нашло хлорирование. В результате окисления сероводорода большими дозами хлора образуются кислота и ионы водорода, заметно снижающие pH воды, а при малых дозах происходит образование коллоидной серы, что требует последующего осветления воды для снижения появившейся мутности и устойчивой опалесценции. Для этого метода нужны сравнительно большой расход реагентов (не только хлора, но и коагулянтов), сложное реагентное хозяйство, складские помещения и транспортные расходы. Кроме

хлора, в качестве окислителей могут применяться перманганат калия, озон, диоксид хлора и другие реагенты. Этим методам присущи те же недостатки, что и при использовании хлора [6–7, 10].

С точки зрения очистки сероводородсодержащих подземных вод, наибольший интерес вызывает биохимический метод. Сдерживающим фактором широкого применения биохимического метода являются его недостаточная изученность и необходимость проведения специальных технологических изысканий для определения оптимальных технологических параметров при очистке подземных вод конкретного источника водоснабжения [11]. В основе биохимических методов окисления соединений серы лежат естественные биологические процессы, обеспечивающие круговорот серы в природе [12]. Известно около 50 видов бесцветных серобактерий, принадлежащих к восьми родам, но изучены они слабо. В одну группу они объединены на основании одного признака – способности к накоплению внутри клеток глобул элементарной серы [12]. Данное обстоятельство является важнейшим при разработке технологии биохимической очистки сероводородсодержащих вод, так как этот процесс может обеспечить окисление сероводорода до серы без применения химических окислителей и образования трудноудаляемой коллоидной серы. Стационарность процесса может быть обеспечена своевременным выводом избыточной биомассы из него.

Механизм окисления сероводорода серобактериями (*Beggiatoa*) был установлен С. Н. Виноградским еще в 1885 г. [13]. Его многолетними исследованиями, послужившими основой открытия явления хемосинтеза, установлено, что окисление сероводорода серобактериями протекает в две стадии:

- на первой сероводород окисляется до элементарной серы, которая в виде глобул накапливается в протоплазме бактериальных клеток



- на второй при недостатке сероводорода серобактерии начинают окислять внутриклеточную серу до серной кислоты



Исследования и реализация биохимических методов удаления сероводорода из воды в разные годы проводились В. Д. Плешаковым [14], М. М. Калабиной [15], Г. Ю. Ассом [10, 16] и др. Метод, предложенный В. Д. Плешаковым, представлял собой сочетание частичной десорбции сероводорода аэрацией и биологического окисления серобактериями. Г. Ю. Ассом, с учетом исследований В. Д. Плешакова, был разработан биохимический метод удаления сероводорода из подземных вод с использованием аэрируемого биореактора с затопленной загрузкой, подачей воды и воздуха снизу вверх и последующим фильтрованием.

В. Д. Плешаковым и Г. Ю. Ассом были исследованы и реализованы различные, но принципиально не отличающиеся технологические схемы одноступенчатой биологической очистки подземных вод от сероводорода. Им обоим присущи следующие недостатки:

- для обеспечения нормативного содержания сероводорода в очищенной воде (0,003 мг/л), даже при его исходной концентрации в несколько мг/л, требуется обеспечение эффективности его удаления не менее 99,9 %, что практически не может быть достигнуто одноступенчатым биохимическим процессом в силу его специфики – недостатка субстрата;

- образование в очищаемой воде трудноудаляемой коллоидной серы за счет частичного окисления сероводорода кислородом воздуха;

- необходимость применения коагулянтов и окислителей для осветления воды и доокисления сероводорода и его производных;

- зарастание загрузки в биореакторах карбонатом кальция и серой вследствие нарушения сульфид-карбонатного равновесия при десорбции сероводорода и углекислоты в процессе аэрации;

- значительный выброс сероводорода в окружающую среду.

Экспериментальные исследования процессов биохимического удаления сероводорода. На основании исследований С. Н. Виноградского [13] и результатов проведенных лабораторных экспериментов по установлению влияния аэрационных процессов на состав и

свойства сероводородных вод [5] были разработаны технологические схемы биохимического удаления сероводорода. Технологические и конструктивные особенности данных схем базировались на предположении, что если производить умеренное насыщение воды кислородом воздуха, обеспечивающее только достаточные аэробные условия развития серобактерий, то при реализации двухступенчатого процесса можно обеспечить фиксацию образовавшейся серы внутри микробных клеток с последующим окислением ее до серной кислоты без образования трудноудаляемой коллоидной серы и снижением сероводорода до нормативных требований без применения химических реагентов.

Были проведены две серии исследований с использованием крупномасштабных пилотных установок биохимической очистки подземных вод от сероводорода в ст. Староминской Краснодарского края на действующей скважине в д. Новоясенская. В первой серии исследований испытывали две параллельно работающие технологические схемы. Схемы 1 и 2 отличались только схемой работы биореакторов. По схеме 1 биореактор работал с естественной аэрацией и нисходящим потоком очищаемой воды, по схеме 2 – с восходящим потоком и искусственной подачей воздуха компрессором в нижнюю часть биореактора. Биореакторы были заполнены специальной полимерной загрузкой с удельной поверхностью $180 \text{ м}^2/\text{м}^3$. В качестве второй ступени в обеих схемах использовали фильтры-биосорберы с плавающей полистирольной загрузкой.

Во второй серии исследований с целью исключения влияния водонапорной башни на состав исходной воды установки были подключены непосредственно к скважине. Из скважины вода поступала в расходный бак, откуда насосом подавалась на пилотные установки. В схеме 3 в отличие от схемы 1 биореактор был дополнен устройством для регулирования степени аэрации. В схеме 4 вместо фильтра с плавающей загрузкой использовали фильтр с песчаной загрузкой.

На основании анализа полученных данных наиболее эффективной из рассматриваемых оказалась схема 3, которая представлена на рис. 1. Результаты технологических исследований схемы 3 приведены в табл. 1.

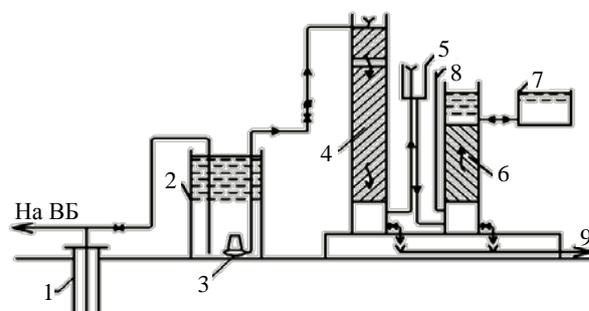


Рис. 1. Технологическая схема пилотной установки:
 1 – скважина; 2 – расходный бак исходной воды;
 3 – погружной насос; 4 – биореактор с нисходящим потоком и регулируемой аэрацией; 5 – дозирующий бак;
 6 – фильтр-биосорбер с плавающей загрузкой;
 7 – бак промывной воды; 8 – пьезометр;
 9 – сброс очищенной и промывной воды

Таблица 1

Результаты технологических исследований по удалению сероводорода по схеме 3

Показатель	Значение показателя и концентрации при гидравлической нагрузке, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$											
	1,90			3,84			4,22			5,75		
	Исходная вода из скважины	Вода после биореактора	Вода после фильтра	Исходная вода из скважины	Вода после биореактора	Вода после фильтра	Исходная вода из скважины	Вода после биореактора	Вода после фильтра	Исходная вода из скважины	Вода после биореактора	Вода после фильтра
Температура, °С	13,20	13,500	13,400	14,70	15,500	15,2000	18,20	19,10	19,3000	17,50	18,70	18,4000
pH	8,30	8,200	8,100	8,25	8,200	8,1000	8,40	8,35	8,3000	8,30	8,50	8,5000
Eh	-235,00	98,000	108,000	-233,00	71,000	80,0000	-251,00	-4,00	66,0000	-243,00	-111,00	-2,0000
$r\text{H}_2$	8,50	19,800	20,000	8,40	18,900	19,0000	8,10	16,60	18,9000	8,20	13,10	16,9000
O_2 , мг/л	0,70	4,000	3,600	0,70	3,300	3,2000	0,60	2,80	2,6000	0,70	2,40	2,4000
H_2S , мг/л	2,32	0,013	0,002	2,33	0,019	0,0025	2,38	0,14	0,0028	2,34	0,64	0,0061

Анализ результатов исследований показывает, что биореактор обеспечивает удаление не менее 94 % сероводорода. Поэтому на фильтр поступает не более 5–6 % окисляемых соединений серы, что создает условия дефицита питания для содержащихся в них серобактерий (рис. 2). Это способствует дальнейшему окислению элементарной серы, накопившейся в клетках серобактерий на первой стадии окисления сероводорода в биореакторах, до сульфатов. Подтверждением этому является снижение рН в воде после фильтров. Резкое увеличение концентрации сероводорода в очищенной воде произошло при гидравлической нагрузке более $5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. В ранее проводимых исследованиях биохимического метода (В. Д. Плешаков, Г. Ю. Асс и др.) применяемые на последней стадии очистки фильтры рассматривались исключительно как механические, предназначенные для задержания выносимых из биореакторов биомассы и коллоидной серы. Как правило, перед ними в воду вводили коагулянт, а иногда и хлорсодержащие реагенты для доокисления сероводорода и дезинфекции фильтрующей загрузки [10, 16].

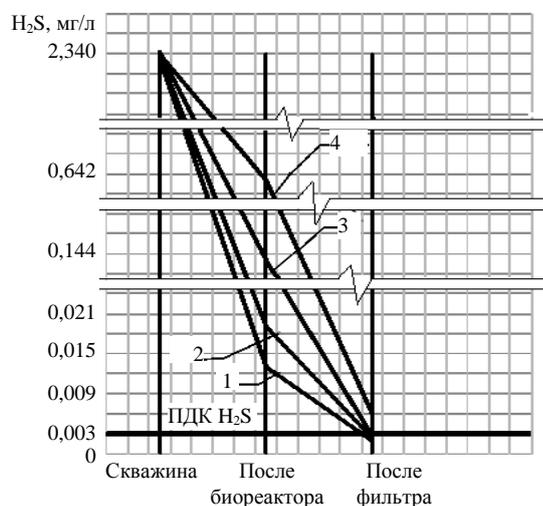


Рис. 2. Изменение концентрации сероводорода H_2S по ступеням очистки при гидравлической нагрузке, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$: 1 – 1,9; 2 – 3,84; 3 – 4,22; 4 – 5,75

Во всех исследованных технологических схемах изначально предполагалось использовать фильтры не столько как механические, а как биосорбционные, сущность работы которых заключается в биосорбции и биоокислении недоокисленных сернистых соединений задерживаемой

биомассой, выносимой из биореакторов, и окислении внутриклеточной серы. При этом возникают опасность биозаращения загрузки и ухудшение ее фильтрующей способности. Такая опасность не подтвердилась. Об этом свидетельствуют восстановление практически первоначальных потерь напора после периодической промывки фильтрующей загрузки, визуальный ее осмотр после окончания исследований и анализ промывной воды. Это, видимо, можно объяснить нитчатой структурой образующейся биомассы, легко удаляемой при промывках, а также спецификой протекающих биохимических процессов на каждой ступени очистки.

Обращают на себя внимание и абсолютные значения окислительно-восстановительных потенциалов Eh и rH_2 в воде после биореактора и фильтра (рис. 3). Они достигали плюс 98–108 мВ, что весьма существенно превышает значения этих показателей в исходной воде (минус 251–235 мВ) или достигаемых в процессе 1,5-часовой аэрации воды [5]. Это еще раз подтверждает предположение о том, что данные изменения происходят в результате жизнедеятельности серобактерий, которые способны повышать окислительные свойства среды и создавать условия для эффективного окисления сероводорода и его производных без применения химических реагентов.

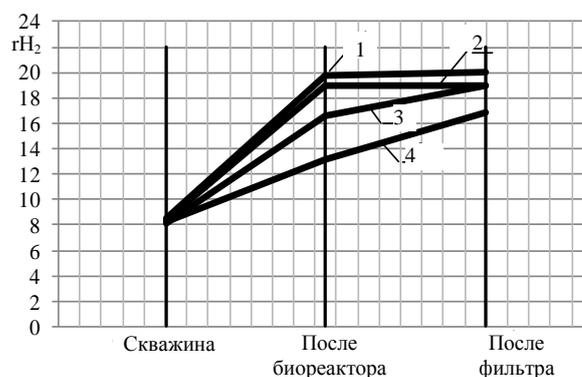


Рис. 3. Изменение величины rH_2 по ступеням очистки при гидравлической нагрузке, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$: 1 – 1,9; 2 – 3,84; 3 – 4,22; 4 – 5,75

ВЫВОДЫ

Результаты проведенных полномасштабных полупроизводственных испытаний позволили разработать новую двухступенчатую технологию. Данная технология позволяет решить две основные проблемы, которые были выявлены

при реализации ранее разработанных биотехнологий [10, 14]:

1) исключить образование трудноудаляемой коллоидной серы;

2) обеспечить снижение концентрации сероводорода до нормативных требований (0,003 мг/л) без применения химических реагентов.

При этом двухступенчатая технологическая схема должна включать:

- биореактор со специальной полимерной загрузкой с естественной аэрацией, обеспечивающей аэробные условия для протекающих биохимических процессов;

- фильтр-биосорбтер с плавающей загрузкой и периодической регенерацией путем промывки очищенной водой.

Удельная гидравлическая нагрузка на биореактор не должна превышать $5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, или $120 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут.})$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яроцкий, Л. А. Основные закономерности образования и распространения вод СССР / Л. А. Яроцкий. – М.: Наука, 1960. – С. 141–168.
2. Кудельский, А. В. Очерки по региональной гидрогеологии Беларуси / А. В. Кудельский; НАН Беларуси, Институт природопользования. – Минск: Беларуская навука, 2010. – 192 с.
3. Вредные вещества в промышленности: справ. химиков, инженеров и врачей: в 3 т. / под ред. Н. В. Лазарева. – М.: Госхимиздат, 1976. – Т. 2: Органические вещества. – 592 с.
4. Алексин, О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алексин. – Л.: Гидрометиздат, 1970. – 444 с.
5. Седлухо, Ю. П. Особенности биохимического удаления сероводорода из подземных вод / Ю. П. Седлухо, Ю. О. Станкевич // Актуальные проблемы градостроительства и благоустройства территорий: материалы VI Междунар. науч.-техн. конф., Кишинэу, 15–16 ноября 2012 г. / Тех. ун-т Молдовы; редкол. С. Калос. – Кишинэу, 2012. – С. 129–139.
6. Дуров, С. А. Очистка питьевой воды от сероводорода / С. А. Дуров. – Ростов н/Д: РНИИАКХ, 1935. – 36 с.
7. Линевиц, С. Н. Очистка природных и сточных сероводородных вод: учеб. пособие / С. Н. Линевиц. – Новочеркасск: НПИ, 1979. – 56 с.
8. Кастальский, А. А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения / А. А. Кастальский, Д. М. Минц. – М.: Высш. шк., 1962. – 560 с.
9. Кульский, Л. А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды (процессы и аппараты) / Л. А. Кульский. – Киев: Навук. думка, 1971. – 564 с.
10. Золотова, Е. Ф. Очистка воды от железа, фтора, марганца, сероводорода / Е. Ф. Золотова, Г. Ю. Асс. – М.: Стройиздат, 1975. – 176 с.
11. Технический справочник по обработке воды. Degremont: в 2 т. / под ред. М. И. Алексеева, В. Г. Ивано-

ва, А. М. Курганова, Г. П. Медведева, Б. Г. Мишукова, Ю. А. Феофанова, Л. И. Цветкова, Н. А. Черникова. – СПб.: Новый журнал, 2007. – Т. 2. – 920 с.

12. Красильникова, Н. А. Жизнь растений: в 6 т. / Н. А. Красильникова; редкол. А. А. Федоров. – М.: Просвещение, 1974. – Т. 3: Бактерии и актиномицеты. – 840 с.

13. Виноградский, С. Н. Микробиология почвы: проблемы и методы. Пятьдесят лет исследований / С. Н. Виноградский. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 792 с.

14. Плешаков, В. Д. Удаление сероводорода из артезианских вод / В. Д. Плешаков. – М.: Изд-во МКХ РСФСР, 1956. – 44 с.

15. Калабина, М. М. Биологическая очистка грунтовых вод / М. М. Калабина, Н. П. Лебедева. – М.: Изд-во ВНИИ ВОДГЕО, 1960. – 56 с.

16. Клячко, В. А. Очистка от сероводорода природных и сточных вод / В. А. Клячко, Г. Ю. Асс, О. Л. Левентон // Водоснабжение и санитарная техника. – 1973. – № 10. – С. 4–6.

REFERENCES

1. Yarotsky, L. A. (1960) *Main Regularities in Formation and Distribution of Water Resources in the USSR*. Moscow, Nauka, 141–168 (in Russian).
2. Kudelsky, A. V. (2010) *Essays on Regional Hydrogeology in Belarus*. Minsk, Belaruskaya Navuka. 192 p. (in Russian).
3. Lazarev, N. V., & Levina, E. N. (1976) *Hazardous Substances in Industry: Reference Book for Chemists, Engineers and Physicians. Vol. 2: Organic Substances*. Moscow, Goskhimizdat. 592 p. (in Russian).
4. Alexin, O. A. (1970) *Fundamentals of Hydrochemistry*. Leningrad, Gidrometizdat. 444 p. (in Russian).
5. Sedlukho, Yu. P., & Stankevich, Yu. O. (2012) Peculiar Features in Biochemical Removal of Hydrogen Sulfide from Underground Water. *Actual Problems of Urban Planning and Land Improvement: Proceedings of VIth International Scientific and Technical Conference, Chisinau, November 15–16, 2012*. Chisinau: Technical University of Moldova, 129–139 (in Russian).
6. Durov, S. A. (1935) *Hydrogen Sulfide Removal from Drinkable Water*. Rostov on Don, RNIIAKKh. 36 p. (in Russian).
7. Linevich, S. N. (1979) *Purification of Natural and Sewage Hydrogen Sulfide Water*. Novocheerkassk, NPI. 56 p. (in Russian).
8. Kastalsky, A. A., & Mints, D. M. (1962) *Preparation of Water for Potable and Industrial Water Supply*. Moscow, Vysshaya Shkola. 560 p. (in Russian).
9. Kulsky, L. A. (1971) *Theoretical Fundamentals and Technology for Water Conditioning (Processes and Devices)*. Kiev, Navukova Dumka. 564 p. (in Russian).
10. Zolotova, E. F., & Ass, G. Yu. (1975) *Purification of Water from Iron, Fluorine, Manganese, Hydrogen Sulfide*. Moscow, Stroyizdat. 176 p. (in Russian).
11. Alekseev, M. I., Ivanov, V. G., Kurganov, A. M., Medvedev, G. P., Mishukov, B. G., Feofanov, Yu. A., Tsvetkov, L. I., & Chernikov, N. A. (2007) *Technical Reference Book for Water Treatment. Degremont. Vol. 2*. Saint-Petersburg, Novy Zhurnal. 920 p. (in Russian).
12. Krasilnikova, N. A., & Fedorov, A. A. (1974) *Plant Life. Vol. 3: Bacteria and Actinomycetes*. Moscow, Prosveshchenie. 840 p. (in Russian).

13. **Vinogradsky, S. N.** (1952) *Microbiology of Soil: Problems and Methods. Fifty Years of Research*. Moscow, Publishing House of Academy of Sciences USSR. 792 p. (in Russian).

14. **Pleshakov, V. D.** (1956) *Removal of Hydrogen Sulfide from Artesian Water*. Moscow, Publishing House MKKh RSFSR. 44 p. (in Russian).

15. **Kalabina, M. M., & Lebedeva, N. P.** (1960) *Biological Purification of Ground Water*. Moscow, Publishing House VNII VODGEO. 56 p. (in Russian).

16. **Kliachko, V. A., Ass, G. Yu., & Leventon, O. L.** (1973) Hydrogen Sulfide Removal from Natural and Sewage Water. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaya Tekhnika* [Water Supply and Sanitary Engineering], 10, 4–6 (in Russian).

Поступила 19.06.2014

УДК 504.062.2:556.18 (075.8)

ОБОСНОВАНИЕ ОБЪЕМОВ И РЕЖИМОВ ПОДАЧИ ВОДЫ НА ОРОШЕНИЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТОКА РЕК ПРЕДГОРНЫХ РАЙОНОВ ВЬЕТНАМА

Асн. ФАМ НГОК КИЕН

Белорусский национальный технический университет

E-mail: kienpecc1@gmail.com

Эффективное использование водохозяйственного комплекса является необходимостью многих стран мира, особенно развивающихся, как Вьетнам. Во Вьетнаме одной из отраслей с высокой потребностью в воде и большим изменением ее расхода в течение года является орошение сельскохозяйственных культур, в основном риса. Потребность в воде на нужды орошения зависит не только от культур, климата, но и от выпадающих осадков. Но такими осадками невозможно управлять. Однако выпадающие осадки, в свою очередь, формируют речной сток, а стоком рек управлять можно с помощью его регулирования (создания водохранилищ). Поэтому важно знать, каким образом величина речного стока связана с потребностями в воде на орошение.

Рассмотрены связи между режимом орошения и режимом речного стока, что особенно актуально для бассейнов рек предгорных районов Вьетнама, где в течение года собирают два-три урожая, а сток рек в различные вегетационные периоды может существенно (до 10 и более раз) отличаться. Эта связь формируется на основе отношений между потребностями в воде орошения и количеством осадков, между количеством осадков и речным стоком в бассейне. Отношение между потребностью в воде орошения (полив нормы) и речным стоком (слой стока) в бассейне является одним из результатов расчетов, необходимых для оптимизации параметров и режимов работы водохозяйственного комплекса в бассейнах малых рек предгорных районов Вьетнама.

Ключевые слова: водохозяйственный комплекс, режим подачи воды, орошение, предгорный район Вьетнама.

Ил. 2. Табл. 3. Библиогр.: 10 назв.

SUBSTANTIATION OF WATER DELIVERY VOLUME AND MODE FOR IRRIGATION DEPENDING ON RIVER FLOWS IN SUBMONTANE REGIONS OF VIETNAM

PHAM NGOC KIEN

Belarusian National Technical University

The efficient usage of water utilization system is a necessary element for many countries in the world, especially for such developing countries as Vietnam. One of the sectors in the Vietnamese economy that requires high water consumption and great changes in its flow rates is irrigation of agricultural crops, especially rice. Water irrigation demands depends not only on crops, climate but also on precipitation. But it is impossible to control precipitation. However, precipitation forms a river flow and the river flow can be controlled with the help of its regulation (creation of water reservoirs). Therefore it is important to know how the river flow rate is interconnected with water demand for irrigation.

The paper considers relations between water demands for irrigation and the river flow, which is especially important for river basins in submontane regions of Vietnam, where crops are harvested 2–3 times per year, and a river flow in various growing periods can be significantly (up to 10 times or more) different. This relationship is formed on the basis of relations between water demand for irrigation and precipitation amount, and between precipitation amount and a river flow in the basin. The relationship between water demands for irrigation (water duty) and river flow (runoff depth) in the river basin is used for optimization of parameters and operational modes of water utilization system in small river basins in the submontane areas of Vietnam.

Keywords: water utilization system, water delivery mode, irrigation, submontane region of Vietnam.

Fig. 2. Tab. 3. Ref.: 10 titles.