

УДК 504.064.43:631.821.2:504.53.062.4

ВОЗМОЖНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ БУРЕНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПОЧВОПОДОБНОЙ СРЕДЫ POSSIBILITIES OF WASTE MANGEMENT WHILE FORMING SOIL-LIKE ENVIRONMENT

Е. В. Гаевая, Я. Э. Богайчук, С. С. Тарасова, Е. В. Захарова
E. V. Gaevaya, Ya. E. Bogaychuk, S. S. Tarasova, E. V. Zakharova

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

*Ключевые слова: утилизация; буровой шлам; токсичность;
отработанный буровой раствор; нефтепродукты; грунт*
Key words: recovery; drilled solids; toxicity; spent drilling mud; petroleum products; ground

В процессе бурения скважин происходит трансформация исходного сырья/материала в отходы бурения. В результате образуются жидкая фаза отходов бурения — буровые сточные воды и отработанный буровой раствор, твердая фаза — буровой шлам [1].

Буровой раствор является поликомпонентной смесью веществ. В состав бурового раствора входят глинопорошок бентонитовый модифицированный (ПБМА, ПБМВ) или палыгорскитовый (ППБ); сода каустическая (гидроокись натрия, едкий натр); низковязкая и высоковязкая полианионная целлюлоза (ПАЦ-Н, ПАЦ-В); низкомолекулярный (низковязкий) полиакриламид (ПАА-Н); высокомолекулярный (высоковязкий) полиакриламид (ПАА-В); понизитель вязкости; карбонат кальция (мраморная крошка); пеногаситель; органический разжижитель; биополимер; бактерицид; калий хлористый (KCl); органический ингибитор глин; модифицированный крахмал; натрий хлористый (NaCl); гипс; гидроокись кальция (известь); баритовый утяжелитель (сульфат бария). Компоненты буровых растворов относятся к III и IV классам опасности. Процентное соотношение материалов и химреагентов может варьироваться в зависимости от метода бурения, пластового давления, происхождения пород-коллекторов. Плотность буровых растворов варьируется от 1,0 до 1,2 г/см³ [1].

Буровые шламы представляют собой текучую пастообразную массу темно-серого с металлическим оттенком цвета, маслянистую на ощупь и имеющую запах нефти. Плотность бурового шлама определяется плотностью бурового раствора и выбуренной породы, для Западной Сибири плотность бурового шлама варьируется 1,3–2,2 г/см³. Вязкость (обратное свойство текучести) отходов бурения составляет 0,1–4,5 Па·с. Текучесть повышается с увеличением содержания воды и при слабой очистке раствора. Обезвоженные буровые шламы теряют текучесть и легко размалываются в порошок. Температура замерзания бурового шлама составляет минус 10–14 °С, температура кипения 120–140 °С. Увеличение содержания воды сужает данный диапазон. Диэлектрическая проницаемость обезвоженных отходов бурения составляет 35–40, магнитная проницаемость близка к единице (на сотысячные доли выше единицы). Теплоемкость отходов бурения составляет 0,8–1,85 кДж/(кг·К). Коэффициент теплопроводности отходов бурения 0,5–0,81 Вт/(м·К) [2].

Шламовые амбары, содержащие токсичные отходы бурения, представляют наибольшую экологическую опасность на этапе строительства объектов нефтегазодобычи [3].

Принятые технологии утилизации отходов бурения, как правило, предусматривают сбор, накопление и/или хранение отходов бурения в шламовых амбарах [4]. В настоящее время остро стоит вопрос разработки безотходных и малоотходных, экологически чистых технологий утилизации отходов бурения (буровой шлам, отработанный буровой раствор) на территориях ХМАО, ЯНАО и Тюменской области.

Цель работы — утилизация бурового шлама и отработанного бурового раствора с использованием отходов промышленного производства (фосфогипса) в сочетании с гуминовым препаратом «Росток» при формировании почвоподобной среды.

В рамках настоящего опыта отбор проб бурового шлама и отработанного бурового раствора осуществлялся на территории скважины из шламового амбара Уватского района Тюменской области в соответствии с ГОСТ 12071–2014 [5]. Бурение производилось с использованием ингибированного полимерглинистого (бентонитовые глинопорошки) раствора.

Исследования образцов бурового шлама и отработанного бурового раствора проводились на базе лаборатории «Мониторинга и охраны окружающей среды» кафедры техносферной безопасности в соответствии с гостированными методиками. Лабораторные исследования по определению энергии прорастания и всхожести семян проводились в соответствии с ГОСТ 12038–84 [6].

Варианты утилизации бурового шлама и отработанного бурового раствора в лабораторных условиях представлены в таблице 1.

Таблица 1

Варианты утилизации бурового шлама и отработанного бурового раствора

Наименование фитокультуры	Вариант	Компонент			
		БШ	ОБР	Фосфогипс	Гуминовый препарат «Росток»
Овсяница красная/ Кострец безостый/ Мятлик луговой	К.в.	+	–	–	–
	1	+	–	+	–
	2	+	5 %	+	+
	3	+	10 %	+	+
	4	+	15 %	+	+
	5	+	20 %	+	+

Для оценки возможности перспективного использования злаковых культур для биологической рекультивации бурового шлама использовали посевной материал растений: кострец безостый (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub), мятлик луговой (*Poa pratensis*), овсяница красная (*Festuca rubra* L.).

Энергию прорастания и всхожесть посевного материала определяли в процентах. За результат анализа принимали среднее арифметическое двух повторностей.

В проведенной работе получены усредненные значения прорастания и всхожести экспериментальных семян (табл. 2).

С последующим увеличением концентрации отработанного бурового раствора, семена не испытывали угнетение, так как отработанный буровой раствор при разных концентрациях (5, 10, 15, 20 %) соответствует содержанию низкого уровня загрязнения.

Энергия прорастания у мятлика лугового при 5–15 % загрязнения превышает энергию прорастания контрольного образца на 10–20 %, при 20 % концентрации наблюдался фитотоксический эффект на рост и развитие проростков мятлика лугового (65 %). Высокий показатель энергии прорастания у костреца безостого наблюдался при содержании отработанного бурового раствора 15 % и составил 70 %. С последующим увеличением концентрации (20 %) происходило заметное снижение энергии прорастания семян. Энергия прорастания овсяницы красной при 5 % и 15 % загрязнении находилась на уровне контрольного образца (65 %), при концентрации раствора 20 % это значение составило 60 %.

Таблица 2

Усредненные значения энергии прорастания и всхожести семян

Критерий оценки	Концентрация отработанного бурового раствора, %	Культура		
		Мятлик луговой	Кострец безостый	Овсяница красная
Среднее арифметическое значение энергии прорастания, %	контроль	70	55	65
	5	80	50	65
	10	85	50	70
	15	90	70	65
	20	65	30	60
Среднее арифметическое значение всхожести, %	контроль	70	70	65
	5	95	60	70
	10	95	60	75
	15	90	70	65
	20	75	50	60

Наименьшей всхожестью, в сравнении с контролем, обладал кострец безостый. При содержании отработанного бурового раствора от 5 до 10 % всхожесть костреца безостого снижалась, концентрация 20 % оказывала статистически значимое негативное влияние на прорастание семян данной культуры, всхожесть составила 50 %. Исследования показали, что значение всхожести у овсяницы красной при концентрации раствора 5 % и 10 % было 70 % и 75 % соответственно.

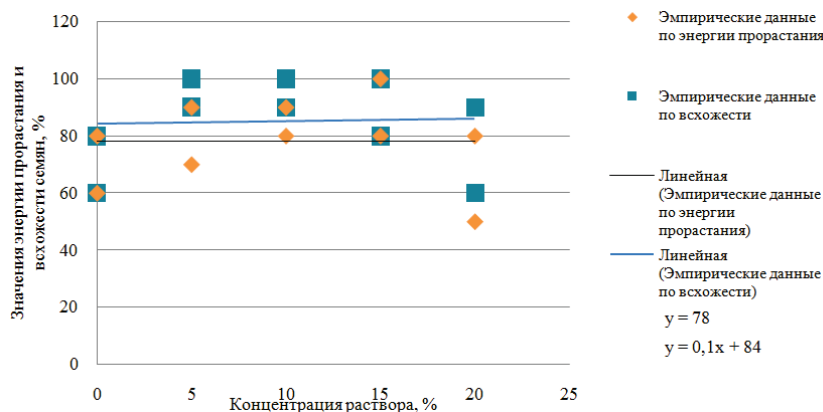


Рис. 1. Влияние концентрации отработанного бурового раствора на энергию прорастания и всхожесть мятлика лугового

Для более наглядного восприятия полученных данных были построены графики, отражающие зависимость энергии прорастания и всхожести семян от концентрации отработанного бурового раствора (рис. 1, 2, 3). Сила этой зависимости определяется с помощью коэффициента корреляции (r) — безразмерная величина, измеряемая в пределах $-1 < r < +1$.

Коэффициент корреляции в зависимости от содержания концентрации отработанного бурового раствора (5, 10, 15, 20 %) к энергии прорастания мятлика лугового составил $r = -0,478$ — обратная средняя связь, к всхожести семян составил $r = -0,887$ — обратная сильная связь.

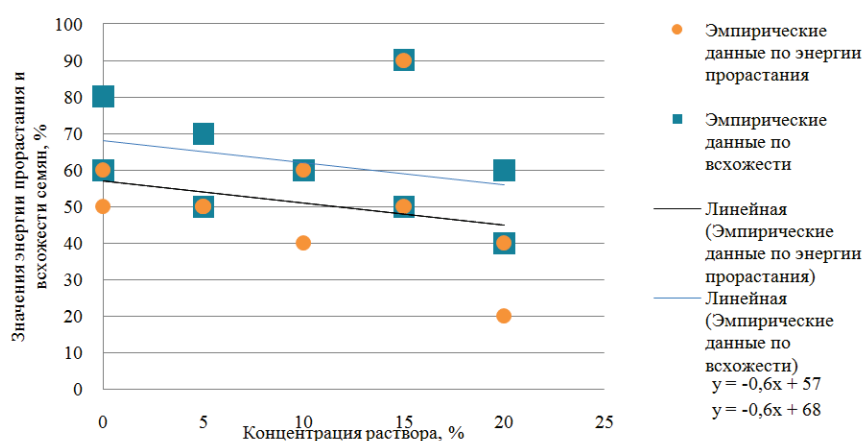


Рис. 2. Влияние концентрации отработанного бурового раствора на энергию прорастания и всхожесть костреца безостого

Коэффициент корреляции в зависимости от содержания отработанного бурового раствора (5, 10, 15, 20 %) к энергии прорастания составил $r = -0,316$ — обратная средняя связь, к всхожести составил $r = -0,316$ — обратная средняя связь.

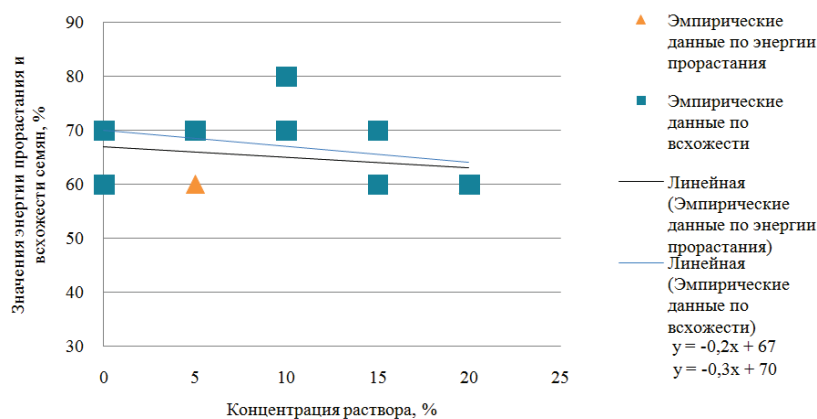


Рис. 3. Влияние концентрации отработанного бурового раствора на энергию прорастания овсяницы красной

Коэффициент корреляции в зависимости от содержания отработанного бурового раствора (5, 10, 15, 20 %) к энергии прорастания составил $r = -0,632$ — обратная средняя связь, к всхожести составил $r = -0,800$ — обратная сильная связь.

При ликвидации шламовых амбаров в буровой шлам вносятся различные мелиоранты. Их использование позволяет устранять высокую щелочность, запыляемость, в десятки раз увеличивает фильтрационную способность бурового шлама, улучшает воздушный и водный режимы и другие показатели [7–11].

В качестве мелиоранта вносили отход промышленного производства (фосфогипс), который улучшает физические, физико-химические свойства бурового шлама. Результаты исследования отхода (фосфогипса) показали, что водородный показатель составил 5,87 единиц (слабокислая среда), содержание валовых форм тяжелых металлов (кадмий, кобальт, медь, никель, свинец, хром, цинк, ртуть) находилось ниже порога обнаружения гостированных методик.

Важным условием для проведения работ по утилизации с получением почвоподобной среды является оценка состояния буровых шламов и отработанного бурового раствора, включающая определение потенциально опасных, токсичных и загрязняющих веществ.

Результаты исследования отработанного бурового раствора показали, что содержание углеводородов нефти было 123,6 мг/дм³, хлорид-ионов 3 960,0 мг/дм³ и сульфат-ионов 840,0 мг/дм³. Водородный показатель находился на уровне 9,1 ед. (щелочная среда). Содержание тяжелых металлов составило: свинец — 26,04 мг/дм³, мышьяк — 3,0 мг/дм³, медь — 10,32 мг/дм³.

Результаты утилизации бурового шлама и отработанного бурового раствора при формировании почвоподобной среды представлены в таблице 3.

Таблица 2

Результаты утилизации бурового шлама и отработанного бурового раствора при формировании почвоподобной среды

Варианты	pH	Содержание НП, мг/кг	Cl ⁻ , мг/кг	SO ₄ ²⁻ , мг/кг	Тяжелые металлы, мг/кг				
					Мышьяк (As)	Свинец (Pb)	Кадмий (Cd)	Медь (Cu)	Ртуть (Hg)
Буровой шлам (контроль)	10,5	2386,67	411±41,1	2017±202	4,29±1,37	1,18±0,30	0,025±0,007	0,75±0,19	менее 0,0005
Буровой шлам + фосфогипс	7,8	2376,54	70±7	456±46	3,16±1,01	1,24±0,32	0,037±0,01	0,63±0,16	менее 0,0005
Буровой шлам + фосфогипс + 5 % ОБР + гум. пр-т «Росток»	7,8	2377,79	70±7	458±46	3,34±1,07	1,22±0,31	0,036±0,01	0,57±0,14	менее 0,0005
Буровой шлам + фосфогипс + 10 % ОБР + гум. пр-т «Росток»	7,8	2378,43	70±7	459±46	3,55±1,13	1,22±0,31	0,033±0,009	0,47±0,12	менее 0,0005
Буровой шлам + фосфогипс + 15 % ОБР + гум. пр-т «Росток»	7,8	2379,21	71±7,1	461±46	3,76±1,20	1,21±0,31	0,028±0,008	0,61±0,15	менее 0,0005
Буровой шлам + фосфогипс + 20% ОБР + гум. пр-т «Росток»	7,8	2379,73	72±7,2	461±46	3,92±1,25	1,10±0,28	0,025±0,007	0,76±0,19	менее 0,0005
ПДК (ОДК) тяжелых металлов в легких суглинках, мг/кг					10,0	130,0	2,0	132,0	2,1

При внесении фосфогипса в буровой шлам (кроме контрольного варианта) понижается уровень водородного показателя от щелочной (10,5 ед.) до слабощелочной (7,8 ед.), снижение pH связано с воздействием кислотности фосфогипса и нейтрализацией таким образом бурового шлама.

В контрольном образце бурового шлама концентрация нефтепродуктов составила 2 386,67 мг/кг, хлорид-ионов — 411 мг/кг и сульфат-ионов — 2 017 мг/кг, дополнительное внесение отработанного бурового раствора при концентрациях 5–20 % существенно не влияло на повышение этих показателей. Значения нефтепродуктов в мелиорированном буровом шламе варьировались от 2 376,54 до 2 379,73 мг/кг, хлорид-ионов от 70 до 72 мг/кг и сульфат-ионов от 456 до 461 мг/кг. Снижение хлорид-ионов и сульфат-ионов происходит за счет замещения катионов Na^+ на катионы Ca^{2+} , что способствует образованию водопрочной структуры с хорошей фильтрационной способностью.

В исследуемых образцах содержание валовых форм тяжелых металлов находилось ниже ПДК (ОДК) для суглинков. Наиболее высокая концентрация была характерна для мышьяка и составила $4,29 \pm 1,37$ мг/кг, наименьшая — для ртути (0,0001 мг/кг). По степени накопления тяжелые металлы в порядке убывания распределялись в следующей последовательности: мышьяк (As) > свинец (Pb) > медь (Cu) > кадмий (Cd) > ртуть (Hg).

Результаты вариантов биологической рекультивации при лабораторном опыте представлены в таблице 4.

Таблица 3

Результаты вариантов биологической рекультивации при лабораторном опыте

Культура	Показатель	Вариант					
		Буровой шлам (контроль)	Буровой шлам + фосфогипс	Буровой шлам + фосфогипс + 5% ОБР + гум. пр-т. «Росток»	Буровой шлам + фосфогипс + 10% ОБР + гум. пр-т. «Росток»	Буровой шлам + фосфогипс + 15% ОБР + гум. пр-т. «Росток»	Буровой шлам + фосфогипс + 20% ОБР + гум. пр-т. «Росток»
Мятлик луговой	Количество особей, 50 шт	30	30	30	10	40	30
	Высота надземных побегов, см	2,7	3,2	3,3	3,4	3,5	3,2
	Масса вегетативных надземных побегов, г/сосуд (сырая масса)	0,092	0,128	0,132	0,027	0,184	0,094
Кострец безостый	Количество особей, 50 шт	10	—	20	30	10	40
	Высота надземных побегов, см	7,6	—	8,1	8,3	8,4	8,1
	Масса вегетативных надземных побегов, г/сосуд (сырая масса)	0,02	—	0,047	0,156	0,028	0,141
Овсяница красная	Количество особей, 50 шт	—	10	20	30	50	20
	Высота надземных побегов, см	—	6,8	6,6	7,4	7,6	7,1
	Масса вегетативных надземных побегов, г/сосуд (сырая масса)	—	0,02	0,043	0,139	0,236	0,049

При внесении в буровой шлам фосфогипса, 15 % отработанного бурового раствора и гуминового препарата «Росток», культуры-фитомелиоранты показали хорошую всхожесть по отношению к другим вариантам (86,7 %). Всхожесть семян у овсяницы красной составила 100 % с высотой надземных побегов 7,6 см и фитомассой 0,236 г/сосуд. При этом же варианте всхожесть костреца безостого и мятлика лугового составила 80 %, с высотой надземных побегов 8,4 и 3,5 см соответственно. Дополнительное внесение гуминового препарата «Росток» благоприятно сказывается на развитии растений, при этом происходит формирование жизнеспособного фитоценоза со значительным увеличением фитомассы вегетативных надземных побегов на 28–31 % в сравнении с аналогичными вариантами всхожести без внесения гуминового препарата «Росток».

Таким образом, при увеличении концентрации отработанного бурового раствора (5–20 %) происходит угнетение семян растений, энергия прорастания и всхожесть снижаются. В зависимости от содержания отработанного бурового раствора к всхожести и энергии прорастания костреца безостого наблюдалась обратная средняя корреляционная связь, поэтому можно сделать вывод, что он является наиболее устойчивым к токсическому воздействию бурового раствора. Использование в качестве мелиоранта отхода промышленного производства (фосфогипса) улучшает химические и физико-химические свойства бурового шлама. Дополнительное внесение отработанного бурового раствора в буровой шлам при концентрациях 5–20 % существенно не влияло на повышение углеводов нефти, сульфат-ионов, хлорид-ионов и тяжелых металлов. Применение гуминового препарата «Росток» способствовало повышению стрессоустойчивости культур-фитомелиорантов, стимулировало рост и развитие растений, что позволяет проводить посев многолетних трав в условиях северных районов.

Полученная почвоподобная среда в результате утилизации бурового шлама и отработанного бурового раствора с последующим проведением биологической рекультивации может использоваться в качестве грунта для рекультивации шламовых амбаров и прилегающей (примыкающей) к ним производственной и вспомогательной инфраструктуры, нарушенных земель временного и постоянного отвода.

Список литературы

1. Белов П. С., Голубева И. А., Низова С. А. Экология производства химических продуктов из углеводородов нефти и газа: учеб. для вузов. – М.: Химия, 1991. – 256 с.
2. Голубев, Е. В., Соромотин А. В. Состав и свойства буровых отходов Западной Сибири // Мир науки, культуры, образования. – 2010. – № 6 (25–2). – С. 319–320.
3. Соромотин А. В. Экологические последствия различных этапов освоения недр на примере ХМАО // Нефть и капитал. – 2006. – № 8. – С. 76–79.
4. Детоксикация отработанных буровых растворов и буровых шламов и их утилизация в качестве мелиорантов при рекультивации нарушенных почв / Ф. М. Узбеков [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2003. – № 5. – С. 15–18.
5. ГОСТ 12071–2014. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. – Введ. 2015-07-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 9 с.
6. ГОСТ 12038–84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – Введ. 1986-07-01. – М.: Министерством сельского хозяйства СССР, 1984. – 47 с.
7. Петухова В. С. Формирование оптимальных условий для культур-фитомелиорантов на буровых шламах: дис. ... канд. биол. наук. – Тюмень, 2015. – 169 с.
8. Скипин Л. Н., Петухова В. С., Кустышева И. Н. Результаты элементов технологий биологической рекультивации буровых шламов // Сб. мат. XV науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов, соискателей и магистрантов ТюмГАСУ. – 2015. – С. 11–116.
9. Эффективность влияния коагулянтов на физические свойства буровых шламов / Л. Н. Скипин [и др.] // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2015. – № 4–3 (64). – С. 88–92.
10. Скипин, Л. Н., Петухова В. С., Еремин Д. И. Влияние мелиорантов на гранулометрический состав бурового шлама / Скипин Л. Н., Петухова В. С., Д. И. Еремин // Сб. докл. XVIII Междунар. науч.-практ. конф.: в 3-х томах. – 2016. – С. 154–160.
11. Влияние коагулянтов на солевой состав бурового шлама / Л. Н. Скипин [и др.] // Сб. науч. докл. XVII Междунар. науч.-практ. конф.: в 2-х томах. – 2015. – С. 137–141.

Сведения об авторах

Гаевая Елена Викторовна, к. б. н., доцент кафедры «Техносферная безопасность», Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)283753, e-mail: ele-gaevaya@yandex.ru

Information about the authors

Gaevaya E. V., Candidate of Biology, Associate Professor at the Department of Technosphere safety, Industrial University of Tyumen, phone: 8(3452)283753, e-mail: ele-gaevaya@yandex.ru

Богайчук Ярослав Эдуардович, к. т. н., заместитель генерального директора ООО «НИПИ «Нефтегаз-проект», тел. 89827728899, e-mail: bogaychukye@nipingr.ru

Тарасова Светлана Сергеевна, инженер ООО «НИПИ «Нефтегазпроект», г. Тюмень, тел. 89829350891, e-mail: tarasovasvetlana92@yandex.ru

Захарова Елена Викторовна, к. б. н., доцент кафедры «Техносферная безопасность», Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)283956, e-mail: elena72.78@mail.ru

Bogaychuk Ya. E., Candidate of Engineering, Deputy General Director of the LLS «Scientific Research and Design Institute «Neftegazproekt», phone: 89827728899, e-mail: bogaychukye@nipingr.ru

Tarasova S. S., Engineer at the LLS «Scientific Research and Design Institute «Neftegazproekt», phone: 89829350891, e-mail: tarasovasvetlana92@yandex.ru

Zakharova E. V., Candidate of Biology, Associate Professor at the Department of Technosphere safety, Industrial University of Tyumen, phone: 8(3452)283956, e-mail: elena72.78@mail.ru

УДК 628.16

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЧИСТКЕ, ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЮ И ОБОГАЩЕНИЮ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ RESEARCH ON PURIFICATION, DISINFECTION AND ENRICHMENT OF NATURAL WATER

А. В. Двойникова, О. И. Филиповская

A.V. Dvoynikova, O. I. Filipovskaya

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Ключевые слова: окружающая среда; природная вода; магний; биологические системы; загрязнение; микроэлементы; открытые водоемы

Key words: environment; natural water; magnesium; biological systems; pollution; microelements; open water

Стратегической концепцией рационального природопользования является требование бережного отношения к природе. При использовании природных возобновляемых ресурсов (воздух, вода, почва) необходимо учитывать возможности природы по их восстановлению. Загрязнение воды, вызываемое в основном сточными водами промышленных предприятий, объектами сельского хозяйства, бытовыми сточными водами, делает ее все более непригодной для дальнейшего использования. Дорогостоящие системы обеззараживания и очистки воды зачастую создают дополнительные проблемы в качестве питьевой воды. Современные технологии водоподготовки с использованием химических реагентов приводят к удалению из воды таких важных для живых организмов элементов как магний. Актуальной проблемой на сегодняшний день является привлечение естественных технологий для очистки загрязненных природных вод до качества согласно СанПину 2.1.4. 1074-01[1]. Такие технологии позволяют без использования химических реагентов обеспечить высокую степень очистки природной воды, насыщая ее микроэлементами, жизненно необходимыми для живых организмов.

Объект исследования — природная вода, загрязненная естественными и антропогенными веществами.

Предмет исследования — открытый водоем — озеро Тараскуль.

Целью данной работы является исследование эффективности использования комплекса минералов в качестве фильтра для очистки, обеззараживания и обогащения естественными элементами природной воды.

В естественном состоянии вода никогда не свободна от примесей, в ней растворены газообразные, органические и неорганические вещества. Даже в пресной воде содержание растворенных солей достигает до 1 г/дм³ [1]. Пресные водные ресурсы существуют благодаря вечному круговороту воды. Реки всегда были источником пресной воды. Но в современную эпоху они стали транспортировать отходы промышленных предприятий, сельского хозяйства и бытовые стоки. До