



БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ LIFE SAFETY

Издается с января 2001 г.

11(155)
2013

Редакционный совет:

АКИМОВ В. А., д.т.н., проф.
БАЛЫХИН Г. А., д.э.н.
БЕЛОВ С. В., д.т.н., проф.
ГРИГОРЬЕВ С. Н., д.т.н., проф.
ЗАЛИХАНОВ М. Ч., академ. РАН,
д.т.н., проф. (председатель)
КЛИМКИН В. И., к.т.н.
КОТЕЛЬНИКОВ В. С., д.т.н.,
проф.
ПАВЛИХИН Г. П., д.т.н., проф.
СОКОЛОВ Э. М., д.т.н., проф.
ТЕТЕРИН И. М., д.т.н.
ТИШКОВ К. Н., к.т.н., проф.
УШАКОВ И. Б., чл.-корр. РАН,
д.т.н., проф.
ФЕДОРОВ М. П., чл.-корр. РАН,
д.т.н., проф.
ЧЕРЕШНЕВ В. А., академ. РАН, д.т.н.
АНТОНОВ Б. И.
(директор издательства)

Главный редактор

РУСАК О. Н., д.т.н., проф.

Зам. главного редактора
ПОЧТАРЕВА А. В.

Ответственный секретарь

ПРОНИН И. С., д.ф.-м.н., проф.

Редакционная коллегия:

БЕЛИНСКИЙ С. О., к.т.н., доц.
ИВАНОВ Н. И., д.т.н., проф.
КАЛЕДИНА Н. О., д.т.н., проф.
КАЧАНОВ С. А., д.т.н., проф.
КАЧУРИН Н. М., д.т.н., проф.
КЛЕЙМЕНОВ А. В., д.т.н.
КРАСНОГОРСКАЯ Н. Н., д.т.н.,
проф.
КСЕНОФОНТОВ Б. С., д.т.н.,
проф.
КУКУШКИН Ю. А., д.т.н., проф.
ЛУЦЦИ С., проф. (Италия)
МАЛАЯН К. Р., к.т.н., проф.
МАСТРЮКОВ Б. С., д.т.н., проф.
МАТЮШИН А. В., д.т.н.
МИНЬКО В. М., д.т.н., проф.
МИРМОВИЧ Э. Г., к.ф.-м.н., доц.
ПАНАРИН В. М., д.т.н., проф.
ТОПОЛЬСКИЙ Н. Г., д.т.н., проф.
ФРИДЛАНД С. В., д.т.н., проф.
ХАБАРОВА Е. И., к.х.н., доц.
ЦЗЯН МИНЦЗЮНЬ, проф.
(Китай)
ШВАРЦБУРГ Л. Э., д.т.н., проф.

СОДЕРЖАНИЕ

ОХРАНА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

- Низамутдинова Н. Р., Кутляхметов А. Н., Сафарова В. И., Шайдулина Г. Ф., Сираева И. Н., Салихова Ф. А.** Оценка состояния древесной растительности в условиях аэротехногенного загрязнения окружающей среды при кучном выщелачивании золота 2
- Асфандиярова Л. Р., Панченко А. А., Юнусова Г. В., Измestьева М. И., Загидуллин Р. Р., Рафикова А. Р.** Разработка принципов и мероприятий по озеленению территории города Стерлитамака Республики Башкортостан 9

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЧС

- Дубинский Г. С., Андреев В. Е., Хузин Р. Р., Мияссаров А. Ш., Хузин Н. И.** Уменьшение негативного воздействия на окружающую среду при применении методов увеличения нефтеотдачи пластов, содержащих высоковязкую нефть 12
- Пряничникова В. В., Бикбулатов И. Х., Бахонина Е. И.** Обеззараживание территории старых скотомогильников 16
- Елхова В. Д., Елхова О. И.** Экология человека и проблема демеркуризации 20
- Одинцов А. Н., Байзигитова Р. Р., Паньков Е. К., Севриков А. И.** Уточнение методологии оптимизированного выбора средств контроля по метрологическому обеспечению объектов повышенной опасности 23

МОНИТОРИНГ И ОХРАНА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

- Красногорская Н. Н., Зельдова А. И., Глебова К. С.** Современные "зеленые" решения экологических проблем гальванического производства 29
- Сафаров А. М., Мухаматдинова А. Р., Магасумова А. Т., Хатмуллина Р. М., Сафарова В. И.** Изучение загрязненности подземных вод, испытывающих техногенное влияние нефтехимических предприятий 34
- Красногорская Н. Н., Елизарьев А. Н., Кияшко И. Ю., Трусова И. В.** Мониторинг объектов антропогенной деятельности, оказывающих влияние на водные объекты 39
- Фатьянова Е. В., Хатмуллина Р. М., Сафарова В. И., Шадинова Н. Б., Магасумова А. Т.** Изменение гидрохимического состава воды в реке как критерий для выявления источников загрязнения гидросферы 45
- Смирнова Т. П., Гатауллина Э. М., Шайдулина Г. Ф., Сафарова В. И.** Микробиологическое исследование воды и донных отложений водотока в зоне влияния предприятия по переработке медно-колчеданных руд 48

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

- Евдокимова Н. Г., Комарова Е. В., Логинова Е. В., Тимербаева Э. И., Мурзабаева Р. Р.** Ресурсосберегающая технология получения поверхностно-активных веществ из отходов производства полиэтилена 52

Приложение. Лесные и торфяные пожары. Выпуск 1

Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, и включен в систему Российского индекса научного цитирования.

УДК 504.3.054+504.732

Н. Р. Низамутдинова¹, гл. спец. отдела, **А. Н. Кутлиахметов**², канд. геогр. наук, доц., **В. И. Сафарова**¹, д-р. хим. наук, начальник, **Г. Ф. Шайдулина**¹, канд. хим. наук, нач. аналитической службы, **И. Н. Сираева**¹, канд. хим. наук, вед. спец. отдела, **Ф. А. Салихова**³, эколог

¹ Управление государственного аналитического контроля, г. Уфа

² Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, г. Уфа

³ Башкирская золотодобывающая компания, г. Учалы

E-mail: ugak5@mail.ru

Оценка состояния древесной растительности в условиях аэротехногенного загрязнения окружающей среды при кучном выщелачивании золота

*Приведены результаты исследования загрязненности древесной растительности в зоне влияния предприятия по добыче золота методом кучного выщелачивания. Изучена динамика аэрогенного распространения от промплощадки предприятия кучного выщелачивания тяжелых металлов, мышьяка и селена. Дана оценка аэрогенной составляющей в общем загрязнении листьев березы бородавчатой (*Betula pendula* Roth.).*

Ключевые слова: тяжелые металлы, кучное выщелачивание, береза бородавчатая, загрязнение

Nizamutdinova N. R., Kutliahmetov A. N., Safarova V. I., Shaydulina G. F., Siraeva I. N., Salikhova F. A. Evaluation of Woody Plants in Conditions Aerotechnogenic Environmental Pollution of Heap Leaching Gold

*The results of investigation of contamination of woody vegetation in the impact zone of the enterprise on extraction of gold heap leaching method. The dynamic of aerogenic of distribution enterprises of the industrial site of heap leaching of heavy metals, arsenic and selenium are studied. Estimation of aerogenic component in the overall pollution of beech leaves of birch (*Betula pendula* Roth.).*

Keywords: heavy metals, leaching of clusters, warty, pollution

Введение

Республика Башкортостан (РБ), расположенная на стыке Европы и Азии, отличается разнообразием ландшафтов, животного и растительного мира, богатством полезных ископаемых (нефть, цветные и благородные металлы, облицовочные и

поделочные камни, известняки, стройматериалы и др.). Месторождения полиметаллических руд, разработка которых является важной составляющей экономики РБ, расположены в горной части республики на восточных склонах Южного Урала, постепенно переходящих в степную равнинную зону, — в Башкирском Зауралье.

На равнинах Башкирского Зауралья распространена степная растительность. Граница между степным Зауральем и горно-лесной зоной занята полосой лесостепи. Леса приурочены к горным склонам. Основные лесообразующие породы: береза, осина, сосна обыкновенная, отчасти лиственница, ольха серая [1, 2].

Растения являются основным источником поступления тяжелых металлов (ТМ) в организм человека и животных, а также служат индикатором оценки уровня загрязнения окружающей среды. Известно, что степень накопления ТМ в растительности коррелирует с загрязнением почв этими же элементами. Кроме того, растения поглощают ТМ из атмосферного воздуха [3—5].

Растительные сообщества являются одним из чувствительных природных объектов, позволяющих оценивать комплекс воздействий, характерных для данного региона. Выбор высших растений в качестве объекта мониторинга окружающей среды обусловлен их природными особенностями:

- растения ведут прикрепленный образ жизни, поэтому по их состоянию можно оценить экологическую ситуацию в районе их произрастания;
- благодаря многолетию растений они способны отражать долговременные изменения в экосистемах под воздействием природных и техногенных факторов.

Растительность часто используется для косвенной оценки загрязнения атмосферного воздуха в зо-

нах влияния промышленных предприятий. Известно, что в условиях антропогенеза ТМ поступают в растения двумя путями — из почвы и воздуха [6, 7]. Листовые поверхности растений, особенно широколиственных пород, представляют собой естественные планшеты-накопители аэрозольного материала. Это дает возможность рассматривать их как объект регулярного апробирования для изучения динамики поступления аэральных поллютантов или их распределения в пространстве [7].

Целью проведенного исследования явилось изучение влияния золотодобывающего предприятия на растительный покров прилегающей территории. Здесь представлены результаты изучения техногенного влияния предприятия кучного выщелачивания (КВ) золота на древесные растения. Дана оценка площади интенсивности и уровня загрязнения окружающей среды ТМ с определением вклада аэрогенной составляющей в общее загрязнение.

Характеристика объекта исследования

В качестве источника загрязнения исследовано предприятие кучного выщелачивания золота — ЗАО НПФ "Башкирская золотодобывающая компания" (БЗК). Производственный комплекс кучного выщелачивания золота расположен в Учалинском районе РБ, в 30 км к северо-востоку от г. Учалы. Он включает в себя рудный штабель, участок рудоподготовки и технологический узел [8]. Территория района исследования характеризуется грядово-сопочным рельефом с абсолютными отметками от 420 до 450 м, относительным перепадом уровней 20 м. В непосредственной близости от промплощадки БЗК на расстоянии около 1 км располагается д. Сафарово. В качестве фоновой территории рассматривали участок, расположенный в 5 км на юг от д. Сафарово, близкий к исследуемому по своему геологическому строению, климатическим и географическим условиям, со сходным типом ландшафта, почвы и растительного покрова.

Для определения ореола распространения повышенного содержания токсикантов от источников загрязнения выбрана береза бородавчатая (*Betula pendula Roth.*) как широко распространенное дерево на территории Учалинского района. Исследованиями установлено [5, 9], что из типичных представителей древесной растительности РБ береза бородавчатая обладает большей аккумуляционной способностью, чем лиственница Сукачева и сосна обыкновенная. Показано [9], что береза бородавчатая эффективно концентрирует железо, медь, стронций и никель, что подтверждает целесообразность ее использования в качестве основного тест-объекта для дендроиндикации ТМ.

Материалы и методы исследования

Для данного исследования использовались образцы листьев березы, отобранные в конце вегетационного периода на промплощадке предприятия кучного выщелачивания, в его санитарно-защитной зоне (СЗЗ) и в пределах территории, ограниченной радиусом 1 км (рис. 1 — см. 3-ю стр. обложки). Отбор проб проводился по приоритетным направлениям с учетом розы ветров: северо-западном, юго-восточном, юго-западном, восточном, западном, на различных расстояниях (50 м, 100 м, 300 м и 1000 м) от штабеля кучного выщелачивания, на территории промплощадки КВ и на самом штабеле.

Рассмотрены результаты исследования наиболее проблемных участков распространения загрязняющих веществ от промплощадки БЗК. В их число включены юго-восточное, северо-восточное направления в соответствии с розой ветров, а также северо-западное, на котором совмещены промплощадки КВ и месторождения золотоносных руд "Муртыкты".

Для определения интенсивности аэрогенной миграции загрязняющих веществ в зоне влияния предприятия КВ использовались запыленные и отмытые листья березы. Проведен их отдельный анализ, что позволило выявить аэрогенную составляющую в общем загрязнении растений.

Высушенные на воздухе запыленные и отмытые пробы листьев березы минерализовались в кислой среде (азотной и соляной кислотах) в присутствии хлорной кислоты или пероксида водорода. Пробоподготовка растительных образцов была проведена в условиях, позволяющих предотвратить потерю легколетучих элементов (As, Se, Sb, Hg), являющихся токсичными примесями золотосодержащих руд [10].

Измерения содержания ТМ (Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Co, As, Se и др.) выполнялись с помощью атомно-абсорбционных спектрометров АА-6200 и АА-6800 (Shimadzu) с пламенной и электротермической атомизацией; содержание ртути определялось атомно-абсорбционным методом холодного пара на анализаторе "Юлия-2К".

Кроме химико-аналитических исследований было проведено визуальное изучение формы листьев и определение показателя флуктуирующей асимметрии (ФА) с использованием стандартного набора из пяти морфологических признаков, основанных на выполнении линейных и угловых измерений листовой пластины с целью установления относительной величины асимметрии для правой и левой стороны листа. Данные признаки характеризуют стабильность формообразования листа. Качество среды оценивали по балльной системе в соответствии с флуктуирующей асимметрией высших растений [11, 12], под которой понимают независимое отклонение от идеального симметричного



состояния листьев растений, возникающее как результат воздействия внешних факторов [13, 14].

В ряде случаев дополнительно исследовалась частота встречаемости мелких ненаследственных отклонений от нормального строения и жилкования листовой пластины березы (фенодевиантов), таких, как неровные края основания листовой пластинки, непарная первая жилка второго порядка, наличие добавочной жилки второго порядка с одной стороны, дихотомическое разветвление жилки первого или второго порядка. Всего было отобрано и изучено около 1000 листьев.

Экспериментальная часть

Листья деревьев играют важную роль в формировании ореолов рассеяния токсичных элементов в лесных экосистемах. Они задерживают на своей поверхности пыль, обогащенную тяжелыми металлами, препятствуя их распространению на дальние расстояния и способствуя частичному очищению атмосферного воздуха. При опадании листьев создается дополнительная нагрузка на почвенный покров под деревьями, что обуславливает повышенное поступление тяжелых металлов в почвенные горизонты. Для оценки интенсивности и динамики распространения ТМ в зоне влияния предприятия КВ рассмотрены особенности загрязнения листьев березы бородавчатой (*Betula pendula Roth.*) на различных участках обследуемой территории.

При изучении экологической ситуации в зоне влияния промышленных предприятий, кроме получения сведений о валовом содержании загрязняющих веществ в объектах окружающей среды, необходимо определить основные пути миграции токсикантов и интенсивность их накопления в депонирующих средах. Растения депонируют тяжелые металлы при корневом питании и накапливают обогащенную ТМ пыль на поверхности листьев. Эти два миграционных потока формируют валовое загрязнение растений тяжелыми металлами и другими загрязняющими веществами.

Накопление аэрозольного материала и пыли на листьях дает возможность использовать препаративные смывы с поверхности листа для мониторинга поступления металлов из атмосферы на подстилающую поверхность. Такой подход позволяет получить информацию, сопоставимую по ценности с результатами исследования атмосферных выпадений [7].

На рис. 2 отражен характер изменения валового содержания ТМ в растениях листьев березы бородавчатой (*Betula pendula Roth.*) по мере удаления от промплощадки КВ.

Концентрационные профили ТМ построены для северо-западного, юго-восточного и северо-восточного направлений (см. рис. 2, б). Масштаб

при построении зависимостей подбирался для каждого профиля с учетом выявленных концентраций. Для более четкого отображения концентраций микрокомпонентов (As, Se, Sb, Hg, Ag, Cu, Cd, Pb) профили этих элементов построены в меньшем диапазоне концентраций (см. рис. 2, а).

Из представленных кривых (см. рис. 2, б) видно, что самые высокие валовые концентрации ТМ в листьях березы выявлены для цинка, марганца и железа как на промплощадке, так и за ее пределами. Содержание остальных элементов (As, Se, Sb, Hg, Ag, Cu, Cd, Pb) в десятки раз ниже по сравнению с макрокомпонентами (Zn, Fe, Mn).

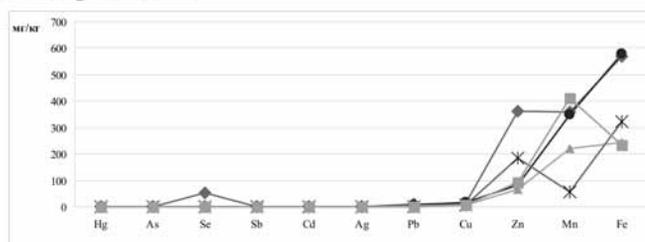
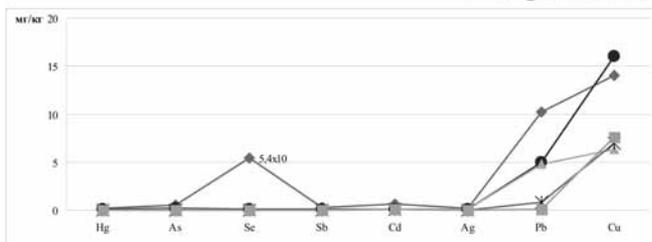
Обращает на себя внимание высокая концентрация Se (от 15,3 до 54 мг/кг) в листьях березы, отобранных на штабеле предприятия КВ, что, возможно, связано с доступностью для растений селена, находящегося в щелочной среде рудного штабеля преимущественно в растворенном состоянии (см. рис. 2, а). Максимальная концентрация Cu в пределах промплощадки предприятия КВ была найдена в листьях берез, растущих на юго-восточном склоне, Fe — на северо-восточном склоне штабеля; Pb — на удалении 50 м к северо-востоку; Mn — в 50 м к юго-востоку от штабеля.

Для изучения закономерностей аэрогенной миграции ТМ для каждого элемента была выделена та часть в общем загрязнении листьев березы, которая связана с пылью, накопившейся на поверхности листовых пластин за вегетационный период. На рис. 3 представлены диаграммы, отражающие соотношение между концентрацией металла в составе пыли и его валовым содержанием.

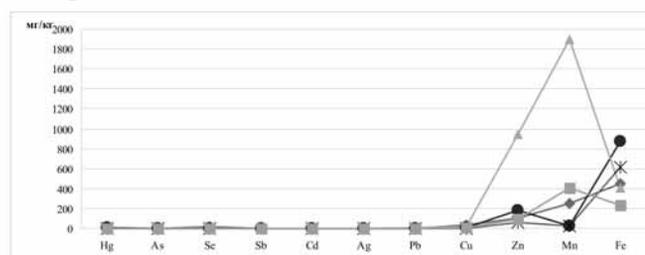
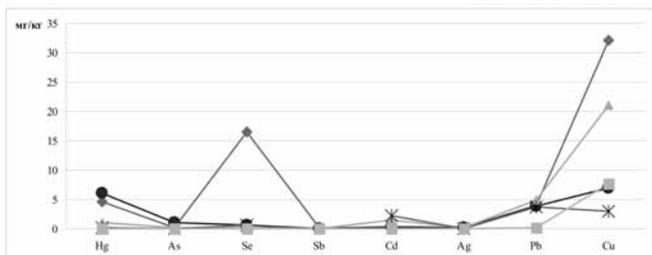
Однако при определении миграционных путей ТМ при формировании ореолов их рассеивания во времени и пространстве недостаточно знать только концентрационные характеристики элементов. В этом случае более информативным показателем является коэффициент концентрации ($K_c = C_i/C_{\phi}$) — величина, отражающая кратность превышения фоновой концентрации по каждому элементу. Использование K_c для ранжирования загрязняющих веществ по степени их накопления в объектах окружающей среды в депонирующих средах позволяет сформировать геохимические ассоциации элементов.

В табл. 1 приведены сформированные геохимические ассоциации элементов, обнаруженных в листьях берез, произрастающих в зоне влияния предприятия КВ. При формировании геохимических ассоциаций выбирались только те металлы, концентрация которых превышала фоновую в 1,5 раза и более. Ряды элементов в таблице посчитаны для запыленных листьев, что отражает общую картину загрязненности растений в зоне влияния БЗК.

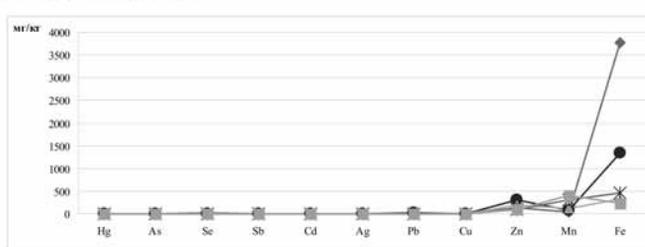
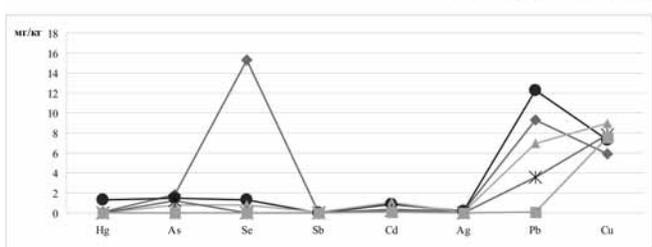
Северо-западное направление



Юго-восточное направление



Северо-восточное направление



а

б

Рис. 2. Концентрационные профили тяжелых металлов, обнаруженных на следующих участках:

—◆— склон штабеля; —●— 50 м от штабеля; —▲— 300 м от штабеля; —*— 1000 м от штабеля; —■— фоновый участок в 5 км на юг от промплощадки предприятия КВ

Таблица 1

Геохимические ассоциации элементов, обнаруженных в листьях берез, произрастающих в зоне влияния предприятия КВ золота

Обозначение участка на рис. 1	Значения K_c химических элементов				
	>100	100...30	30...10	10...3	3...1,5
Юго-восточное направление					
10	Hg ₂₂₉ —Se ₁₇₀	Pb ₃₉	Sb ₂₀ —Ag ₁₈ ,	Cu ₄	Cd _{2,5} —(As—Fe) ₂
15	—	Pb ₃₈	Hg ₃₀ —Ag ₂₁ —As ₁₀	Sb ₇ —Se—Cd ₅ —Fe ₄	Zn ₂
5	—	Hg ₅₂ —Pb ₄₉	Zn ₁₀ —Cd ₂₄ —Ag ₂₂	Mn ₅	Cu _{2,8} —Sb _{2,5} —(As—Se—Fe) ₂
7	—	(Pb—Cd) ₃₇	—	Se ₆ —Hg ₄ —Ag ₃	Fe _{2,6}
Северо-восточное направление					
12	Se ₁₅₃	Pb ₉₃	Ag ₂₀ —As ₁₈ —Fe ₁₆	(Hg—Cd) ₅	—
16	—	Pb ₁₀₀ —Hg ₆₆	Ag ₁₇ —As ₁₅ —Cd ₁₄ —Se ₁₃	Fe ₆ —Zn ₃	Sb ₂
6	—	Pb ₇₀	Cd ₁₈ —Ag ₁₂	(As—Se) ₈ —Sb ₅	(Zn—Hg) ₂
9	—	Pb ₃₆	As ₁₂	(Ag—Cd) ₄	(Fe—Hg) ₂
Северо-западное направление					
11	Se ₅₄₀	Pb ₁₀₀	Sb ₂₉ —Ag ₁₆ —Cd ₁₀	Hg ₈ —Zn ₄	(Fe—As—Cu) ₂
13	—	Pb ₅₀	Ag ₁₃	Sb ₉ —Hg ₆	Fe _{2,5} —Cu ₂ —(As—Cd) _{1,7}
1	—	Pb ₄₈	—	Ag ₉	(Hg—Sb—Cd) ₂
8	—	—	—	Pb ₈	(Hg—Zn—Ag) ₂

Примечание. В индексах к символам химических элементов указано значение K_c .

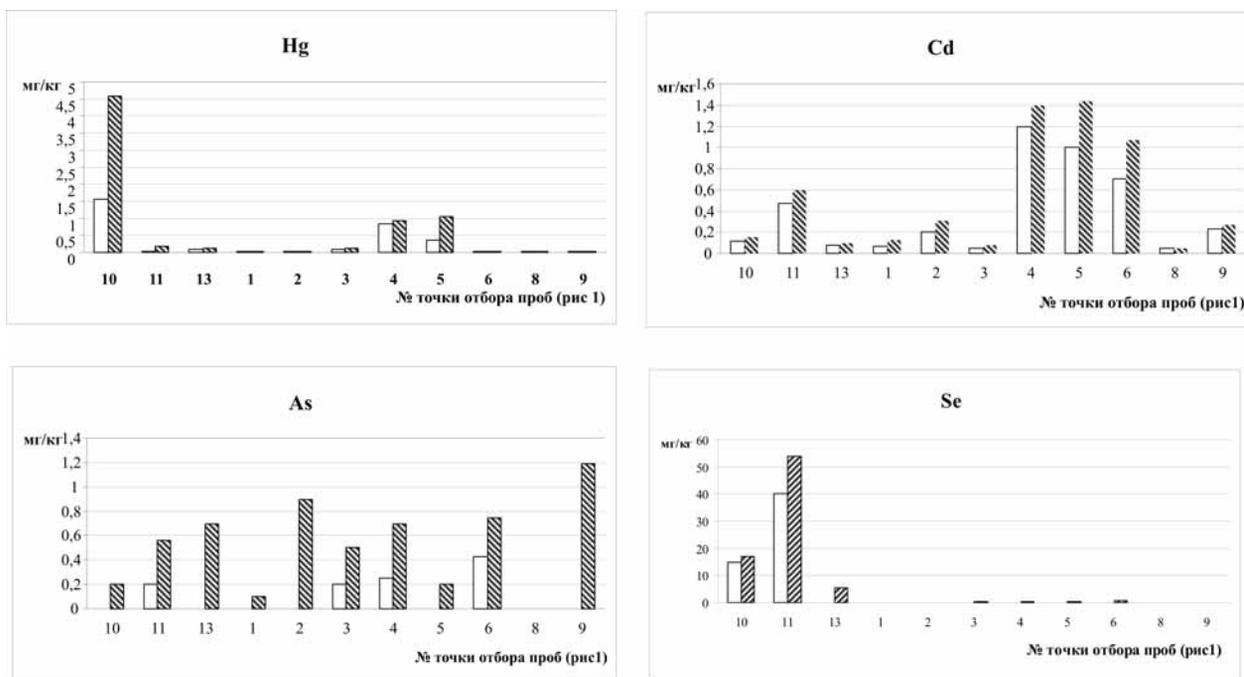


Рис. 3. Соотношение между аэрогенной составляющей и общей загрязненностью листьев березы токсичными элементами: □ — листья чистые, ▨ — листья запыленные. По оси x отражены точки отбора проб: т. 10–11 — на штабеле КВ; т. 13 — 50 м северо-западнее штабеля; т. 1–6 — 300 м от ограды предприятия; т. 8–9 — 1 км от промплощадки

Важными характеристиками геохимической ассоциации являются ее интенсивность и состав входящих в нее элементов. Как видно из табл. 1, по этим показателям исследованные участки территории можно разделить на четыре группы:

1. Штабель КВ (точки 10–11), где в растениях, произрастающих на его склонах, выявлены ассоциации и до 10 микроэлементов, характерных для золотосодержащих руд, преимущественно с высокой и средней степенью накопления.

2. Отдельные участки промплощадки, расположенные на расстоянии 50 м от штабеля (точки 13, 15, 16). Геохимические ассоциации ТМ в листьях берез, отобранных на промплощадке, сохраняют то же число и состав элементов, как и на штабеле, однако степень накопления снижается.

3. На границе санитарно-защитной зоны (точки 1, 5, 6) геохимические ассоциации тяжелых металлов в листьях берез существенно различаются по числу элементов и интенсивности их накопления. Наибольшей загрязненностью характеризуется участок на границе СЗЗ, расположенный в 300 м к юго-востоку от предприятия (точка 5).

4. На участках, расположенных на расстоянии 1 км от промплощадки (точки 7–9) в юго-восточном и северо-восточном направлениях от штабеля, сформировались геохимические ассоциации тяжелых металлов, в состав которых вошли шесть элементов, в основном

со средней и низкой степенью накопления за исключением Pb и Cd ($K_c = 37$) на юго-восточном участке.

Рассмотренные геохимические ассоциации, рассчитанные для запыленных листьев, отражают совместное влияние на состояние растений корневого питания и пылевого загрязнения поверхности листьев. В табл. 2 приведены ряды накопления элементов, обнаруженных в пыли, накопленной на поверхности листьев березы, отобранных на северо-западном направлении. Из таблицы видно, что в геохимической ассоциации ТМ в пыли отсутствует Ag — характерный элемент золотосодержащих руд, снизились коэффициенты накопления примесных элементов Hg, Cd, As, Se и увеличились для Zn, Fe, Mn, являющихся основными компонентами этих руд.

Таким образом, сопоставление геохимических ассоциаций общего и пылевого загрязнения листьев березы позволило ориентировочно оценить вклад аэрогенной составляющей в общем загрязнении растений, а также установить перечень элементов, поступающих в растение преимущественно за счет аэрогенного переноса или корневого питания. Показано, что степень накопления некоторых элементов (Zn, Cu, Fe) в пылевой составляющей выше, чем в геохимической ассоциации для общего загрязнения, что, вероятно, связано с преимущественным поступлением этих элементов с пылью. Степень накопления других элементов (Sb, As, Hg, Pb) ниже или сопоставима по

Геохимические ассоциации элементов, обнаруженных в пыли листьев берез, произрастающих в зоне влияния предприятия КВ золота (северо-западное направление)

Обозначение участка на рис. 1	Значения K_c химических элементов				
	>100	100...30	30...10	10...3	3...1,5
11	Se ₁₀₂	Pb ₃₅	Zn ₁₀	Sb ₈ —Fe ₆ —Cd ₅ —As ₄	Hg ₂
13	—	—	Pb ₁₂	Sb ₈ —(Zn—Fe) ₆ —(Cu—Hg) ₃	As _{1,7}
1	—	—	Pb ₂₅	(Zn—Mn) ₄ —Fe ₃	Sb ₂
8	—	—	—	Zn ₄	(Hg—Pb) ₂ —Cu _{1,7}

Примечание. В индексах к символам химических элементов указано значение K_c

значениям K_c в общем загрязнении, поэтому преобладающим источником их поступления в растение можно считать корневое питание.

Параллельно с химическим исследованием растений в зоне влияния предприятия КВ была проведена оценка качества среды по степени морфологических нарушений растений, таких как отклонения от нормального строения органов (фенодевиантов), а также по величине флуктуирующей асимметрии.

При антропогенном загрязнении почвы и атмосферы ТМ происходит изменение растительного покрова. Разнообразные нарушения состояния растений представлены проявлениями некроза, хлороза, засыхания, ускорения процессов отмирания и пространственно сопряженными с ними морфологическими аномалиями — явлениями гигантизма, тератогенными формами и другими признаками [11, 13, 15—20].

Визуальное обследование изучаемой территории показало, что эти нарушения интенсивно проявлены на северо-западном, юго-восточном и северо-восточном направлении от участка предприятия КВ БЗК. В частности, гигантизм здесь наблюдается у всех травянистых форм — злаки достигают высоты 2...3 м, увеличены листья березы, в особенности у молодых деревьев. Листья многих растений бледно-красного цвета. У листьев березы наблюдается наличие сильного и среднего некроза, выявлены неровные края листьев, асимметрия, присутствие жилки второго порядка. Ветки берез имеют шероховатую поверхность.

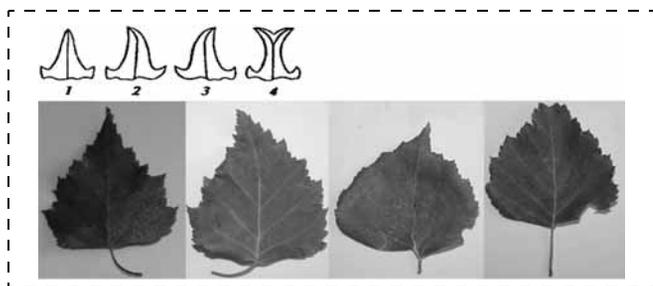


Рис. 4. Примеры "деформации" макушки на листьях березы, отобранных на промплощадке ЗАО "БЗК":

1 — не загнута; 2 — загнута влево; 3 — загнута вправо; 4 — "ласточкин хвост"

Таким образом, растения, произрастающие в зоне влияния предприятия КВ, подвержены видимым морфологическим изменениям. Одним из явных фенодевиантных признаков служит форма макушки березового листа. На рис. 4 приведены фотографии листьев березы, отобранных на промплощадке, с различной "загнутостью" макушки листа: влево или вправо, а также в форме "ласточкиного хвоста". Явное отличие поврежденных листьев от контроля установлено более чем для 70 % случаев из всего объема материала, отобранного на промплощадке БЗК. За пределами промплощадки, на границе СЗЗ, листья с явными морфологическими изменениями встречались реже (в 25 % случаях).

Возникновение зеркальной симметрии у живых организмов является важным эволюционным достижением. Асимметрия является отклонением от нормы, а флуктуирующая асимметрия — одна из форм проявления случайной изменчивости развития. Феномен ФА успешно используется при экологическом мониторинге природных популяций, поскольку это явление связано с нарушением стабильности развития организма в результате воздействия внешних факторов, в первую очередь антропогенного [11, 13, 14, 17, 21, 22].

Для количественной оценки качества окружающей среды в зоне влияния предприятия КВ по показателю ФА проведено исследование около 700 листьев березы по пяти стандартным морфологическим признакам (рис. 5). Рассчитанный интегральный показатель ФА оценивался в баллах в соответствии с табл. 3.

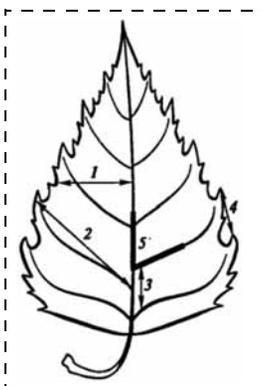


Рис. 5. Схема проведения измерений листьев березы, используемых для расчета величины ФА:

1 — ширина полулиста; 2 — длина второй от основания жилки второго порядка; 3 — расстояние между основаниями первой и второй жилки второго порядка; 4 — расстояние между концами первой и второй жилки второго порядка; 5 — угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка



Таблица 3

Балльная система качества среды обитания живых организмов по показателям флуктуирующей асимметрии высших растений
(по А. Б. Стрельцову, 2003)

Виды	Балл				
	1	2	3	4	5
Береза бородавчатая Все виды растений	<0,055 <0,0018	0,056...0,060 0,0019...0,0089	0,061...0,065 0,0090...0,022	0,065...0,070 0,022...0,04	>0,070 >0,04

Примечание. Баллы соответствуют следующим характеристикам среды обитания живых организмов: 1 — чисто; 2 — относительно чисто (норма); 3 — загрязнено (тревога); 4 — грязно (опасно); 5 — очень грязно (вредно).

Результаты оценки качества окружающей среды в зоне влияния БЗК по интегральному показателю ФА приведены в табл. 4. Показатели стабильности развития березы варьировали в пределах 0,063...0,101, а в контроле составили всего 0,007. Во всех анализируемых случаях превышение показателей ФА характеризовалось максимальным уровнем статистической достоверности. Наиболее интенсивными очагами загрязнения являются: промплощадка предприятия КВ; юго-восточное направление от

Таблица 4

Результаты оценки качества окружающей среды в зоне влияния предприятия КВ по показателю флуктуирующей асимметрии (ФА)

Место сбора	ФА	Баллы	Характеристика среды обитания
Юго-восточное направление			
Штабель	0,080	5	Очень грязно (вредно)
20 м от штабеля	0,069	4	Грязно (опасно)
50 м от штабеля	0,063	3	Загрязнено (тревога)
300 м от штабеля	0,093	5	Очень грязно (вредно)
1 км от штабеля	0,075	5	Очень грязно (вредно)
Северо-восточное направление			
Штабель	0,101	5	Очень грязно (вредно)
50 м от штабеля	0,071		
300 м от штабеля	0,084		
1 км от штабеля	0,057	2	Относительно чисто (норма)
Северо-западное направление			
Штабель	0,074	5	Очень грязно (вредно)
50 м от штабеля	0,063	3	Загрязнено (тревога)
300 м от штабеля	0,059	2	Относительно чисто (норма)
1 км от штабеля	0,056	2	
Контрольная точка 5 км	0,007	1	Чисто

штабеля до 1 км и северо-восточное направление до границы СЗЗ. К северо-западу загрязнение ограничено территорией промплощадки.

Следует отметить, что данные биоценологического исследования соответствуют результатам химического анализа листьев березы.

Выводы

Исследование листы березы бородавчатой (*Betula pendula* Roth.), отобранной на промплощадке предприятия КВ и за ее пределами, позволило выделить и количественно охарактеризовать аэрогенные миграционные потоки ТМ в зоне влияния предприятия КВ золота (БЗК).

Исследование листьев химическими и биоценологическими методами привело к получению сходных результатов по оценке качества окружающей среды.

Список литературы

- Соломеш А. И., Григорьев И. П., Хазиахметов Р. М. и др. Синтаксономия лесов Южного Урала. V. Хвойно-широколиственные леса. — Уфа, 1993 (Рукопись деп. В ВИНИТИ 02.06.93. № 1464-В 93). — 68 с.
- Кашапов Р. Ш., Курамшина Н. Г., Магадеев М. Ш., Фахретдинова Г. Р. Экология и безопасность жизнедеятельности Башкирского Зауралья. — Уфа: Экология, 1999. — 81 с.
- Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе "почва — растение". — Новосибирск: Наука, 1991. — 150 с.
- Ковалевский А. Л. Биогеохимия растений. — М.: Наука, 1991. — 293 с.
- Мукатанов А. Х., Салихов Д. Н. Проблемы экологии горно-рудных районов Башкирского Зауралья и некоторые пути их решения. — Уфа: Гилем, 2011. — 48 с.
- Кабата-Пендиас А. А. Микроэлементы в почвах и растениях. — М.: Мир, 1989. — 439 с.
- Елпатьевский П. В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. — М.: Наука, 1993. — 253 с.
- Кутлиахметов А. Н., Низамутдинова Н. Р., Сафарова В. И., Ибраева С. Г. Воздействие предприятия кучного выщелачивания золота на георесурсы Учалинского района // Георесурсы. — 2012. — Т. 50. — № 8. — С. 34–43.
- Кулагин А. А., Шагиева Ю. А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей. — М.: Наука, 2005. — 190 с.
- Айсуева Т. С., Гуничева Т. Н. Оценка влияния предварительной обработки на точность аналитических данных // Аналитика и контроль. — 2000. — Т. 4. — № 2. — С. 191–197.
- Шадрина Е. Г., Вольперт Я. Л., Данилов В. А., Шадрин Д. Я. Биоиндикация воздействия горнодобывающей промышлен-

- ленности на наземные экосистемы севера. — Новосибирск: Наука, 2003. — 110 с.
12. **Биологический** контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / О. П. Мелехова, Е. И. Егорова, Т. И. Евсеева и др. — М.: Академия, 2007. — 288 с.
 13. **Опекунова М. Г.** Биоиндикация загрязнений. — СПб.: СПбГУ, 2004. — 266 с.
 14. **Захаров В. М.** Здоровье среды: практика оценки. Центр экологической политики России / В. М. Захаров, А. Т. Чубинишвили, С. Г. Дмитриев, А. С. Баранов, В. И. Борисов, А. В. Валецкий, В. Ю. Крысанов, Н. Г. Кряжева, А. В. Пронин, Е. К. Чистякова. — М., 2000. — 318 с.
 15. **Ибрагимов Э. Э., Бандак И. В., Дрозд А. С.** Флуктуирующая асимметрия листьев *Morus Alba* как биоиндикатор аэротехногенного загрязнения урбоэкосистем // Ученые записки Таврического университета им. В. И. Вернадского. Серия "Биология, химия". Том 24 (63). — 2011. — № 2. — С. 129—135.
 16. **Методические** рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур) / МПР РФ; Введ. 16.10.03. — № 460-Р. — М., 2003. — 24 с.
 17. **Солдатова В. Ю.** Флуктуирующая асимметрия березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukacz.) как критерий качества городской среды и территорий, подверженных антропогенному воздействию (на примере Якутии): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Якутия, 2006. — 18 с.
 18. **Кивацкая А. В.** Эколого-геохимические последствия кучного выщелачивания золота: На примере ОАО "Рудник "Веселый", Республика Алтай: дис. ... канд. геол.-минер. наук. Томск, 2006. — 150 с.
 19. **Вронский В. А.** Прикладная экология: Учебное пособие. — М.: Феникс, 1996. — 512 с.
 20. **Собчак Р. О., Федоткина Н. В., Робертс Ю. В.** Особенности растительности в зоне влияния золотодобывающего рудника "Веселый" (Республика Алтай). / Актуальные проблемы изучения биоразнообразия и экологии растений Республики Алтай // Вестник ТГУ. — 2005. — № 41. — С. 30—39.
 21. **Захаров В. М.** Здоровье среды: концепция. — М., 2000. — 42 с.
 22. **Kozlov M. V.** Fluctuation asymmetry of birch leaves increases under pollution impact / M. V. Kozlov, B. J. Wilsey, J. Koricheva, E. Haukioja // J. Appl. Ecology. — 1996. — № 33. — P. 1489—1495.

УДК 574.75.06; 625.77

Л. Р. Асфандиярова, канд. техн. наук, доц., **А. А. Панченко**, асп., **Г. В. Юнусова**, асп., **М. И. Измествьева**, **Р. Р. Загидуллин**, **А. Р. Рафикова**, студенты, филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Стерлитамаке
E-mail: asfand_lilya@mail.ru

Разработка принципов и мероприятий по озеленению территории города Стерлитамака Республики Башкортостан

Показано современное состояние озеленения г. Стерлитамака. Выявлена наметившаяся в целом тенденция снижения количества высадки зеленых насаждений в городе. Отмечено неудовлетворительное состояние атмосферного воздуха в городе, что связано с отсутствием научно обоснованной комплексной программы озеленения. Предложены основные на научном подходе принципы и мероприятия по озеленению города.

Ключевые слова: озеленение, зеленые насаждения, загрязнение атмосферы, городская среда, растительность, лесные породы, градостроительная экология

Asfandiyarova L. R., Panchenko A. A., Yunusova G. V., Izmistieva M. I., Zagidullin R. R., Rafikova A. R. *The Development of the Principles and Activities of the City Planting of Greenery in Sterlitamak Bashkortostan*

Displaying the current state of urban greening Sterlitimak. Revealed outlined in the general downward trend in the number of landings of green space in the city.

The above facts are connected with the fact that the city is no evidence-based comprehensive program of landscaping, poor air of the city. Using a scientific approach, the principles and measures for greening the city.

Keywords: greenery, green plants, air pollution, urban environment, vegetation, forest trees, urban planning and ecology

Территория промышленного г. Стерлитамака отличается контрастностью природных условий, разнообразием растительного мира, что обусловлено многообразием форм рельефа и ландшафтов местности. Город входит в западно-предуральскую лесостепь, характеризующуюся преобладанием волнисто-равнинного рельефа и преобладанием серных лесных и черноземных почв тяжелого механического состава.

Почвы на территории стерлитамакской зоны отличаются разнообразием. В пределах левобережья реки Белой и узкой предгорной полосы правобережья распространены выщелочные и оподзоленные черноземы. На юге левобережья вклини-



ваются тучные и карбонатные черноземы [1]. С повышением рельефа на восток получают распространение на повышенных формах рельефа серые лесные и дерново-подзолистые, часто щебенчатые почвы. Ниже по склонам развиты глубоко гумусные почвы различной степени оподзоливания, образующие ряд переходов от лугово-болотных и лугово-черноземных к темным и подзолистым почвам.

В соответствии с разнообразием природных условий очень разнообразна растительность. Левобережная часть и узкая полоса правобережной части Башкирского Приуралья характеризуется преобладанием лесостепной растительности. Здесь распространены островные леса, приуроченные большей частью к повышенным элементам рельефа. В лесах распространены лиственные и широколиственные породы: липа, дуб, клен с примесью березы и осины. На юге левобережья узкой полосой далеко на север вклинивается степная зона. Большая часть земель здесь освоена преимущественно под пашни. В целом почвенно-климатические условия для произрастания зеленых насаждений относительно благоприятны [2]. В настоящее время под зеленые насаждения в г. Стерлитамаке задействовано 1098 га [3].

С помощью программы Google Earth (версия 7.0.3.8542) был произведен расчет доли озеленения жилой, санитарно-защитной, промышленной зон города. Для этого использовалась трехмерная модель всего земного шара, которая отображается на экране при помощи интерфейсов DirectX или OpenGL.

На рис. 1 представлен визуальный пример работы с программой.

Расчетный анализ показал, что доля озеленения незначительна и составляет для санитарно-защитной зоны (СЗЗ) предприятий города 32 %, а территории промышленных предприятий — 14 %. В таб-



Рис. 1. Фрагмент карты города с использованием программы Google Earth

Динамика изменения количества зеленых насаждений 2009—2012 г. в г. Стерлитамаке

№ п/п	Вид зеленых насаждений	2009	2010	2011	2012
1	Деревья, шт.	5315	3875	1678	643
2	Кустарники, шт.	5749	2678	1239	560
3	Цветники, м ²	35 900	26 785	16 786	19 300
4	Благоустроенные газоны, м ²	24 100	19 865	22 345	25 500

лице представлена динамика изменения количества зеленых насаждений за период 2009—2012 гг. [2]. Исходя из приведенных данных, можно сделать вывод о наметившейся в целом тенденции снижения количества высадки зеленых насаждений в городе.

Вышеуказанные факты связаны с тем, что в городе отсутствует научно обоснованная комплексная программа озеленения. Однако ее разработка весьма актуальна, так как озеленение является не только составной частью общего комплекса мероприятий по планировке, застройке и благоустройству населенных мест, но и важным природоохранным мероприятием по снижению негативного воздействия антропогенных выбросов на воздушный бассейн города [4].

При разработке программы озеленения были учтены метеорологические, физико-географические и градостроительные особенности города. В первую очередь было учтено влияние рельефа местности и "розы ветров". Город Стерлитамак находится в пониженной части рельефа по отношению к сопредельным территориям. Наиболее низкие отметки рельефа наблюдаются в юго-восточной и восточной его части. Рельеф местности оказывает влияние на направление и скорость ветра. Приоритетные ветра в условиях города южные и северные, поэтому происходит движение загрязненных воздушных потоков с северной промзоны и с территории предприятий южной сопредельной территории [5]. Также необходимо учитывать степень локализации загрязнений по урбанизированной территории Стерлитамака.

При проведении мероприятий по озеленению городской территории необходимо соблюдать следующие условия:

— в СЗЗ зеленые насаждения должны занимать 60...70 % территории [6];

— следует располагать насаждения так, чтобы обеспечить чередование открытых и закрытых пространств, это будет способствовать лучшему рассеиванию антропогенных выбросов;

— не следует создавать загущенные посадки и очень крупные массивы плотной структуры.

С учетом данных положений предлагаются мероприятия по внедрению системы озеленения г. Стерлитамака. Необходимо предусмотреть сохранение существующих зеленых насаждений с дополнительным озеленением отдельных зон: СЗЗ предприятий, жилой зоны, внегородской территории.

Мероприятия в СЗЗ предприятий:

- предлагается озеленить территорию санитарно-защитной зоны Ново-Стерлитамакской ТЭЦ ввиду отсутствия каких-либо насаждений здесь (данный факт был установлен с использованием ГИС-технологий);

- ввиду близости расположения района п. "Строймаш" предлагается увеличить количество зеленых насаждений между поселком и расположенными в непосредственной близости от него предприятиями;

- предлагается улучшение качества зеленых насаждений на территории СЗЗ в связи с тем, что визуальным осмотром установлено наличие различных повреждений, большого количества сухостоя;

- ввиду локализации предприятий, расположенных вдоль СЗЗ железнодорожных путей в центральной части города, высокой проходимости транспортных средств по ним, близкого нахождения жилой зоны, предлагается озеленить данную территорию; однако при этом необходимо соблюдать разрывы и обеспечить защиту путей от снежных заносов.

Мероприятия в жилой зоне:

- предлагается первоочередное озеленение территорий, наиболее подверженных загрязнению участков жилой части города (районы Старого города, пр. Октября, Горгаз; участки вдоль дорог по ул. Элеваторной, Черноморской). Эти участки установлены по данным мониторинга загрязнения снежного покрова;

- предлагается строительство парков, аллей в жилой зоне, способствующих выветриванию загрязнений из дворовых территорий;

- предлагается применение вертикального озеленения вьющимися растениями, устройство переносных садов, подвесного озеленения, зеленых островов в покрытии тротуаров, применение приемов геопластики для улучшения проветриваемости.

Также необходимо предусмотреть *схему озеленения внегородской территории с юга*. При южном ветре в городе фиксируется высокое содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Связано это с легкостью прохождения загрязняющих воздушных масс с сопредельных территорий. В связи с этим предлагается введение системы зеленых насаждений, разделяющей города Стерлитамак — Салават — Ишимбай.

Важным мероприятием на стадии проектирования является подбор ассортимента растений [7]. При этом учитываются географическое райониро-

вание породы, соответствие ее экологическим условиям территории, устойчивость растения к воздействию выбросов. Не следует стремиться к увеличению количества пород. Лучше выбрать одну—две устойчивые древесные и две—три кустарниковые породы с учетом их взаимодействия. При этом не менее 50 % общего числа высаживаемых деревьев должна занимать главная древесная порода, обладающая наибольшей жизнеспособностью.

Кроме того, при выборе древесных пород должен быть учтен профиль рельефа внутри города и по отношению к сопредельным территориям. Разница в отметках высот, которая наблюдается по направлению с востока на запад, составляет до 60 м (рис. 2). Этого достаточно, чтобы локализовать загрязнение в пониженной части рельефа. В связи с этим на участках, где разница в высотах составляет наибольшие значения — это юго-восточная и восточная части, для выравнивания рельефа предлагается посадка высоких деревьев таких, как береза, ель, сосна, тополь, кедр. Там, где разница высот составляет 30 м и менее, — деревья средней высоты — это, например, дуб, липа, на остальных участках можно высаживать различные кустарники (например, сирень) [5].

Применительно же к внегородской территории необходимо учитывать, что разница в отметках рельефа между городами составляет более 50 м, необходимо высаживать более высокорослые сорта деревьев.

В жилой части города наилучшим вариантом будет использование ели, сосны, лиственницы, березы, осины, липы, сирени.

Генеральный план г. Стерлитамака должен отражать целостность и единство системы озеленения, предусматривать резервные площади с тем, чтобы разрастающиеся промышленные и селитебные районы не заняли в будущем предназначенные под озеленение участки [5]. Непременным требованием ко всем генеральным планам и про-

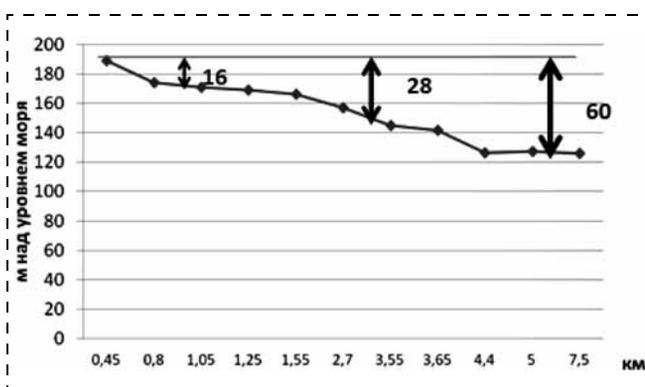


Рис. 2. Профиль рельефа территории г. Стерлитамака с востока на запад



ектам было и остается максимальное сохранение уже имеющихся насаждений.

В заключение следует отметить, что озелененные пространства в настоящее время должны являться таким же элементом архитектуры города, как здания, сооружения и другие объекты.

Решение о посадке деревьев необходимо принимать с учетом довольно большого количества факторов. Разработку планов озеленения города следует рассматривать как конструирование, подобное инженерному конструированию технических объектов на промышленном предприятии. Предложенные здесь мероприятия и принципы, необходимые для разработки программы озеленения города, являются научно обоснованными, их внедрение позволит снизить негативное воздействие антропогенных выбросов на воздушный бассейн города.

Список литературы

1. **Миркин Б. М., Наумова Л. Г., Ибатуллин У. Г.** Экология Башкортостана: Учебник для средних профессиональных учебных заведений. Изд. 2-е, дополн. — Уфа: Китап, 2005.
2. **Доклад** о состоянии окружающей среды г. Стерлитамак за 2010 г. — Стерлитамак: СТУ Минэкологии РБ, 2011.
3. **Решение** от 24 мая 2011 года № 2—6/513 "Об утверждении корректировки Генерального плана городского округа город Стерлитамак".
4. **Атмосфера:** Справочное издание. — Ленинград: Гидрометеиздат, 1991. — 511 с.
5. **Бикбулатов И. Х.** [и др.]. Влияние антропогенных факторов на состояние воздушного бассейна г. Стерлитамака // Экология и промышленность России. — 2012. — Апрель. — С. 54—55.
6. **СНиП 2.07.01—89** Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.
7. **Бакутис В. Э.** Инженерное благоустройство городских территорий. — М.: Стройиздат, 2002.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЧС

УДК 622.245

Г. С. Дубинский, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., **В. Е. Андреев**, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. АН РБ, директор, Институт нефтегазовых технологий и новых материалов Республики Башкортостан (ИНТНМ РБ), г. Уфа,
Р. Р. Хузин, д-р техн. наук, директор, **А. Ш. Мияссаров**, главный геолог,
Н. И. Хузин, главный инженер, ООО "Благодаров-Ойл", г. Альметьевск
E-mail: intnm-gsd@yandex.ru

Уменьшение негативного воздействия на окружающую среду при применении методов увеличения нефтеотдачи пластов, содержащих высоковязкую нефть

Рассмотрено применение экологических и ресурсосберегающих технологий увеличения коэффициента извлечения нефти из продуктивных пластов. Оценены эффективность применяемой технологии теплового воздействия и прогнозируемого микробиологического воздействия.

Ключевые слова: высоковязкая нефть, призабойная зона пласта, адресные технологии, физико-химические, микробиологические технологии, комплексные методы воздействия, эффективность извлечения нефти, ограничение водопитока, коэффициент извлечения нефти

Dubinsky G. S., Andreev V. E., Khuzin R. R., Miyassarov A. S., Khuzin N. I. *Reduction of Negative Impact on Environment at Application of Methods of Enhanced Oil Recovery from Reservoirs Containing High-Viscosity Oil*

The application of eco-friendly and the resource-saving technologies of increase in oil recovery factor from productive reservoirs is considered in this work. Efficiency of technology of exposure to thermal in reservoirs and prognosis of microbiological influence are estimated.

Keywords: high-viscosity oil, bottomhole formation zone, water production, water cone, water shut-off, targeted enhanced oil recovery and water cut methods, physical-chemical, microbiological technologies, complex methods of exposure, efficiency of oil recovery, oil recovery factor

Введение

Рост антропогенной и техногенной нагрузки на окружающую среду в последние 25 лет привел к увеличению количества экологических проблем. Перспективы решения таких проблем в нефтегазодобывающей промышленности связываются с реализацией программ охраны окружающей среды и внедрения экологически безопасных и ресурсосберегающих технологических процессов и реагентов. Это требует изучения возможности применения тех или иных технологий и реагентов, имеющих уменьшенную экологическую опасность или полностью исключающих негативное воздействие на окружающую среду. Необходимо проводить качественную и количественную оценку воздействия на окружающую среду и количественную оценку эффективности планируемой к применению технологии разработки нефтяной или газовой залежи, воздействия на продуктивные пласты с целью увеличения нефтеотдачи.

Общие положения

В России и за рубежом открыты большие запасы высоковязкой нефти (ВВН). Зачастую пласты с такой нефтью обладают низкой продуктивностью, их запасы оценивают как трудноизвлекаемые запасы (ТриЗ). Крупные нефтяные компании в основном не занимаются эксплуатацией залежей с ТриЗ. Малые нефтяные компании осваивают эту категорию запасов нефти. В большинстве такие залежи ВВН были открыты 20...30 лет и более назад, но не были введены в разработку, потому что обычными (стандартными) методами разработки это экономически нерентабельно, и даже экономически разорительно для компаний и государства.

Для решения проблемы введения ТриЗ в эффективную промышленную разработку надо создать и не просто применить новую систему или комплекс новых методов и реагентов, а использовать такую систему и такой комплекс, которые обеспечивали бы необходимую экономическую рентабельность, уменьшали экологическую нагрузку на окружающую среду. Такие апробированные технологии позже могли бы быть использованы многими другими нефтедобывающими компаниями на аналогичных объектах.

Эффективность и экологичность методов воздействия на пласты

Промысловый опыт показывает, что для разработки трудноизвлекаемых запасов высоковязких нефтей, традиционные системы не эффективны [1, 2]. Известно, что применение принципиально новых методов, основанных на использовании новых фи-

зических эффектов (например, тепловых методов), требует больших начальных экономических затрат. Поэтому дело не только в новых или традиционных методах, а в создании комплексной экологически безопасной и экономически эффективной системы комплексного использования разных методов.

В настоящее время большинство нефтяных месторождений России и в частности Республики Татарстан, находятся на поздней стадии разработки, которая характеризуется снижением уровня добычи нефти и ростом обводненности добываемой продукции, что является одной из причин, способствующих выходу скважин из действующего фонда.

В России насчитывается более 120 тыс. нефтяных и газовых скважин, и 30 % из них дает продукцию, обводненную более чем на 70 %. Эксплуатация таких скважин в рамках действующей законодательной (прежде всего налоговой) системы становится убыточной для нефтедобывающих компаний. В результате количество неработающих скважин доходит до 30 тыс. и ежегодно увеличивается.

В этих условиях все более значимой является задача стабилизации и повышения уровня добычи нефти. Применение традиционных методов регулирования разработки заводнением не в полной мере решает эти проблемы. Увеличиваются объемы попутно добываемой и закачиваемой системой поддержания пластового давления воды. Снижению обводненности добываемой продукции и интенсификации добычи нефти способствует проведение работ по ограничению водопритоков (ОВП) в добывающие скважины и ремонтно-изоляционные работ (РИР) с использованием осадко-гелеобразующих и полимерных материалов.

Проведение ОВП и РИР позволяет решать ряд проблем:

- продление срока службы скважин;
- регулирование выработки нефтеносных коллекторов "неоднородного" эксплуатационного объекта за счет отключения или селективной изоляции обводненных пластов;
- уменьшение добычи попутной воды со снижением ресурсо- и энергозатрат;
- обеспечение охраны недр и природных ресурсов.

Добываемая попутно с нефтью вода может быть разделена по влиянию на процесс разработки. К первому виду относится закачиваемая вода, отбор которой оказывает двойное влияние: с одной стороны, результатом этого является увеличение коэффициента извлечения нефти (КИН) пластов, с другой стороны, при этом растут энергозатраты и себестоимость добычи нефти также увеличивается. Ко второму виду относится посторонняя и подош-



венная вода на участке добывающей скважины, отбор которой увеличивает себестоимость нефти и осложняет выработку запасов нефти.

Мероприятия по ОВП первого вида предусматривают изоляцию обводненных и промытых пропластков и зон пласта, исключение обводненных пластов из разработки, ограничение притока закачиваемых вод выравниванием профиля приемистости нагнетательных скважин, нахождение оптимальных объемов отбора воды из пласта. Мероприятия по ОВП второго вида заключаются в повышении качества крепления при строительстве скважин и водоизоляционных работ при эксплуатации.

На поздней стадии разработки на долю ремонтно-изоляционных работ приходится существенная часть от общего объема работ, проводимых при капитальном ремонте скважин. В то же время существующие в настоящее время технологии и тампонажные составы недостаточно эффективны. Одной из причин низкой эффективности РИР является широкое использование дисперсных тампонажных составов на основе цемента. Эти составы обладают высокой вязкостью, значительным размером частиц и не тампонируют мелкие обводнившиеся каналы или дефекты крепи скважин. Они легко разделяются на фазы, взаимодействуют с пластовыми жидкостями, газами и горными породами с ухудшением своих характеристик.

Низкую эффективность цементных тампонажных растворов подтверждает то, что с их применением с первой попытки удается ликвидировать негерметичность и приток воды не более чем в 30 % скважин с нарушениями эксплуатационных колонн [3]. Многократное повторение тампонирующего до достижения герметичности, даже с учетом доступности, низкой цены и простоты использования, во многих случаях делает применение минеральных тампонажных материалов экономически нецелесообразным. Применение более совершенных тампонажных составов часто происходит в условиях, не соответствующих критериям их применения.

Наличие ряда проблем, связанных с высокой обводненностью добываемой продукции и недостаточной эффективностью технологий ограничения водопритока, указывает на актуальность задачи совершенствования технологий и тампонажных составов для РИР [4]. Эффективность РИР может быть существенно увеличена при определении оптимальных геолого-технических условий; применении известных технологий, а также за счет разработки новых тампонажных составов, обладающих более высокими технологическими характеристиками и улучшенной изолирующей способностью.

Для ограничения водопритока и ремонтно-изоляционных работ в добывающих скважинах эффективно применение гелеобразующих и полимерных составов [1, 3, 4]. Это позволяет интенсифицировать добычу углеводородов, увеличить коэффициент извлечения нефти и энергоэффективность добычи нефти за счет сокращения затрат на извлечение и утилизацию попутной воды. Своевременное, часто превентивное и успешное ограничение водопритока, кроме увеличения нефтеотдачи, позволяет уменьшить нагрузку на окружающую среду. Так как все процессы отделения воды от нефти и ее утилизация связаны с использованием электрической и тепловой энергии, сокращение этих затрат позволяет более безопасно для окружающей среды эксплуатировать нефтяное месторождение.

При использовании технологий, направленных на интенсификацию добычи нефти при одновременном сокращении непроизводительных затрат на добычу воды, необходимо уделять особое внимание обоснованию метода и реагента для воздействия на пласт. Для этих целей разработана методология [5–7], позволяющая максимально корректно обеспечить эффективное и ресурсосберегающее воздействие на продуктивный пласт с целью увеличения КИН и ограничения объема попутной воды.

Метотехнология сочетает методологию (стратегию), технологию (технику) и информационное обеспечение (информативность). В нефтегазодобывающей отрасли используются метотехнологии, связывающие подсчет запасов, проектирование разработки и строительства скважин. Для развития нефтегазовых метотехнологий в плане учета возможного влияния на экологию следует повысить, во-первых, их информативность (увеличение баз данных) и, во-вторых, достоверность информации (ее качество). Большую роль в метотехнологическом подходе играет моделирование процессов и прогноз эффекта.

Например, для комплексного воздействия на продуктивный пласт с целью ограничения водопритоков рекомендуется микробиологическое воздействие. Предлагается обработать нагнетательные скважины избыточным активным илом с полимером (биореагент "ИАИП-1") [8]. Такое воздействие позволит заблокировать высокопроницаемые промытые каналы и направить закачиваемую воду в низкопроницаемые зоны пласта, не охваченные фильтрацией. В результате увеличивается коэффициент вытеснения и в итоге КИН.

Воздействие биореагентом "ИАИП-1" было сделано по фонду скважин НГДУ "Азнакаевскнефть" — 96 скважино-операций дали дополни-

тельную добычу 67,2 тыс. т нефти, по НГДУ "Елховнефть" — 29 скважино-операций — 12,8 тыс. т нефти, по НГДУ "Бавлынефть" — 4 скважино-операции — 4,5 тыс. т нефти, по НГДУ "Джалильнефть" — 5 скважино-операций — 2,5 тыс. т нефти, по НГДУ "Ишимбайнефть" — 70 скважино-операций дали дополнительную добычу 85 тыс. т нефти. При этом основная составная часть биореагента — активный ил является отходом биологических очистных сооружений.

Таким образом, получается двойной эффект: уменьшается нагрузка на окружающую среду путем безопасной утилизации отходов, содержащих микроорганизмы; использование биореагента позволяет увеличить коэффициент извлечения нефти из продуктивных пластов, сократить добычу попутной воды, что, в свою очередь, увеличивает энергоэффективность добычи нефти и сберегает ресурсы. Эти аспекты очень важны для малых нефтяных компаний (МНК).

Например, Некрасовское нефтяное месторождение разрабатывает МНК, для которой важны все аспекты (экологический, экономический, технологический) применения микробиологического воздействия (МБВ) на пласт с целью увеличения нефтеотдачи. Разрабатывается в основном залежь нефти в башкирском ярусе. Фонд скважин месторождения малодобитный, нефть высоковязкая (211 мПа·с), обводненность продукции более 17 % скважин высокая. Был проведен прогнозный расчет технологической эффективности МБВ на двух участках Некрасовского месторождения с применением характеристик вытеснения [9]. Кривые зависимости накопленной добычи нефти от накопленной добычи жидкости (характеристики вытеснения) строились для каждого участка. Прогнозный технологический эффект по участку 1 составил 692 т дополнительной добычи нефти за год по участку 2 — 984 т. Такой ожидаемый технологический эффект при применении экологически чистой технологии МБВ показывает возможность применения этого метода на Некрасовском месторождении.

Солдатское нефтяное месторождение также эксплуатируется МНК. В разработке находится геологически сложнопостроенная залежь высоковязкой нефти (202,2 мПа·с) в бобриковском горизонте. При начале преждевременного интенсивного обводнения и прогнозе на уменьшение КИН было принято решение по организации поддержания пластового давления закачкой горячей сточной воды (термозаводнение), получаемой на установке подготовки нефти (УПН), после обезвоживания продукции скважин.

Термозаводнение с начала и до настоящего времени осуществляется в режиме поддержания пластовой температуры для недопущения охлаждения пласта и связанных с ним негативных последствий. При этом было запланировано использование попутного газа для нагрева продукции скважин на УПН, так как газ ранее сжигался на факеле, что оказывало негативное воздействие на окружающую среду, а МНК платила экологические штрафы. Внедрение термозаводнения позволило за 28 месяцев добыть дополнительно более 150 тыс. т нефти, что составило 57 % всей добычи. Таким образом, при уменьшении экологической нагрузки на окружающую среду и сокращении затрат ресурсов получен ощутимый технологический эффект и прирост КИН. Очевидно, что в аналогичных условиях на других небольших месторождениях высоковязкой нефти можно успешно применять метод термозаводнения.

Выводы

Направление развития технологий интенсификации добычи нефти и увеличения нефтеотдачи можно определить как развитие комплексного (метотехнологического) подхода к выбору методов и инструментов воздействия с учетом экологичности и энергоэффективности комплексизируемых технологий.

Список литературы

1. **Ганиев Р. Ф.** и др. Проблемы и перспективы волновой технологии многофазных систем в нефтяной и газовой промышленности / Р. Ф. Ганиев, В. Е. Андреев, Ю. А. Котенев, Л. Е. Украинский. — СПб.: Недра, 2008. — С. 83, 143—148.
2. **Канзафаров Ф. Я.** Анализ эффективности методов увеличения нефтеотдачи пластов на Самотлорском месторождении / Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса России // Мат. 6-й научно-технической конференции "Нефть Западной Сибири", т. 1. — Тюмень, 2005. — С. 85—86.
3. **Дубинский Г. С.** и др. Технологии водоизоляционных работ в терригенных коллекторах / Г. С. Дубинский, В. Е. Андреев, Х. И. Акчурин, Ю. А. Котенев. — СПб.: Недра, 2011. — 178 с.
4. **Дубинский Г. С.** и др. Развитие технологий ограничения водопритока в добывающие скважины / Г. С. Дубинский, В. Е. Андреев, Х. И. Акчурин, Ю. А. Котенев // Фундаментальные проблемы разработки месторождений нефти и газа. Тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием. Москва, 15—18 ноября 2011 г. — М.: ИПНГ РАН, 2011. — С. 72—73.
5. **Андреев В. Е.** и др. Элементы интегрированной метотехнологии физико-химического воздействия на продуктивные пласты с целью оптимизации нефтеизвлечения / В. Е. Андреев, Г. С. Дубинский, О. А. Пашко, Ю. А. Котенев // Государственная политика в области охраны окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. Материалы научно-практической конференции 12—14 октября 2010 г. — Уфа, 2010. — С. 94—97.



6. **Андреев В. Е.** и др. Интегрированная метотехнология ограничения водопритока в добывающие скважины / В. Е. Андреев, Г. С. Дубинский, О. А. Пташко, Ю. А. Котенев // Государственная политика в области охраны окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. Материалы научно-практической конференции 12–14 октября 2010 г. — Уфа, 2010. — С. 98–99.
7. **Андреев В. Е.** и др. Планирование и обоснование технологии интенсификации притока в залежах высоковязких нефтей / В. Е. Андреев, Г. С. Дубинский, О. А. Пташко, Ю. А. Котенев, А. Ш. Мияссаров, Р. Р. Хузин, Н. И. Хузин //

- Нефтегазовые технологии и новые материалы (проблемы и решения). Вып. 1 (16). — Уфа: Монография, 2012. — С. 91–93.
8. **Андреев В. Е.** и др. Биоготехнологические методы увеличения нефтеотдачи пластов: Учеб. пособие / В. Е. Андреев, Ю. А. Котенев, Л. Н. Загидуллина, Ш. Х. Султанов, В. Г. Шербинин, М. Ш. Каримов, П. М. Зобов. — Уфа: Изд-во УГНТУ, 2000. — 137 с.
9. **Методическое руководство** по оценке технологической эффективности применения методов увеличения нефтеотдачи пластов. ВНИИнефть. М., 1993.

УДК 502.37

В. В. Пряничникова, препод., **И. Х. Бикбулатов**, д-р хим. наук, проф., зав. кафедрой, **Е. И. Бахонина**, канд. техн. наук, доц., зам. директора по учебной работе, Филиал Уфимского государственного нефтяного университета в г. Стерлитамаке
E-mail: str@rusoil.net

Обеззараживание территории старых скотомогильников

Статья посвящена проблеме старых скотомогильников, которые представляют опасность распространения заболевания сибирской язвы. Проведена оценка существующих методов обработки территории захоронений животных. Предложен новый метод дезинфекции земель скотомогильников.

Ключевые слова: грунт, дезинфекция, сибирская язва, скотомогильник, почвенный очаг, эффективность

Pryanichnikova V. V., Bikbulatov I. H., Bahonina E. I. The Desinfection of Old Animal Burial Grounds

The article is devoted to the problem of old animal burial grounds which are dangerous because of expansion of anthrax. The estimation of the available disinfection methods is done. The new disinfection method for animal burial grounds is suggested.

Keywords: soil, disinfection, anthrax, animal burial grounds, soil foci, effectiveness

Старые скотомогильники как потенциальный источник возникновения чрезвычайной ситуации

Захоронения домашних животных являются потенциальными источниками возникновения экологической чрезвычайной ситуации во многих регионах нашей страны. Главная опасность мест захоронения животных (скотомогильников) — это распространение сибирской язвы — инфекционного заболевания животных и человека. Возбудитель сибирской язвы — *Bac.anthraxis*, аэроб, кото-

рый существует в двух основных формах — бациллярной и споровой.

Болезнь у животных протекает остро, а у свиней — бессимптомно, в основном в локальной ангинозной форме. Болезнь у человека чаще всего проявляется как инфекция наружных покровов и лишь изредка осложняется сибирезвечным сепсисом; вместе с тем может развиться и первичная генерализованная инфекция, проявляющаяся в легочной или кишечной форме.

Источник возбудителя инфекции — больное животное. Экскреты заболевших животных содержат бациллы, которые на воздухе превращаются в споры. Контаминированные сибирезвечными спорами участки почвы и другие объекты внешней среды длительное время являются резервуарами и факторами передачи возбудителя инфекции. Основной путь заражения животных — алиментарный — через корма и воду. Возможны также трансмиссивный и аспирационный пути заражения.

Заражение человека происходит при уходе за больными животными, в процессе их убоя, снятия шкур, разделки туш, кулинарной обработки мяса, уборки и уничтожения трупов, при хранении, транспортировке, первичной переработке и реализации контаминированного животного сырья. Возможно заражение человека при контакте с контаминированной почвой, а также аспирационным и трансмиссивным путями [1].

За период 2007–2009 гг. на территории РФ (Республики Северная Осетия, Алания, Дагестан, Астраханская область, Республика Башкортостан, Республика Бурятия) сибирской язвой заболело

28 человек. Казалось бы, что при сегодняшних нормах санитарно-биологического контроля [1, 2] вероятность опасности распространения заболеваний от новых захоронений животных уже не так велика, однако практика показывает, что такая опасность вполне реальна.

По данным 2009 г. из 13 855 скотомогильников, поставленных на учет, 4961 не отвечают ветеринарно-санитарным требованиям. В 2010 г. называлось более 35 000 стационарно неблагоприятных по сибирской язве пунктов, в которых учтено более 8000 сибиреязвенных скотомогильников (максимальное количество приходится на Центральный, Приволжский и Южный федеральные округа). Так, лишь в Республике Башкортостан насчитывается 1277 скотомогильников, большинство из которых не соответствует требованиям.

Территория, отводимая под захоронения животных, изымается из пользования и не пригодна для строительства. Территория скотомогильников с захоронением в биологических ямах должна быть окружена санитарно-защитной полосой шириной 500 м, скотомогильников с захоронением в земляных ямах — шириной 1000 м. На практике очень часто скотомогильники располагаются в сельскохозяйственных угодьях, в пределах садоводческих товариществ и даже в непосредственной близости от селитебных зон. Например, в Тамбове был установлен почвенный сибиреязвенный очаг прямо на территории города [3].

Еще более сложная ситуация со старыми скотомогильниками. В 20—60-е годы XX века не было правил по организации скотомогильников, поэтому широко применялось зарывание трупов — примитивный и нерациональный способ уничтожения павших животных. Погибших животных закапывали в ямы двухметровой глубины. После смерти скота зараженным является абсолютно все — органы, шкура, шерсть, кровь и выделения, но даже после их разложения остаются костные ткани, инфицированные сибирской язвой. Мало того, инфицированной становилась вся почва, в которую захоронялись животные. Патогенные микроорганизмы попадали в почву. Происходило биологическое загрязнение, под которым понимается привнесение в экосистемы в результате антропогенного воздействия нехарактерных для них видов живых организмов (бактерий, вирусов и др.), ухудшающих условия существования естественных биотических сообществ или сообществ, негативно влияющих на здоровье человека.

Во многих регионах страны (особенно в годы гражданской и Великой Отечественной войн) были утрачены документы первичного учета сибиреязвенных скотомогильников и отдельных захоронений, а сами скотомогильники разрушены, по-

этому часто места расположения и границы их территории точно определить невозможно. Лишь в последние годы места захоронений стали фиксироваться.

Согласно санитарно-эпидемиологическим нормам скотомогильник сибирской язвы должен быть засыпан вровень с землей, утрамбован и забетонирован слоем толщиной не менее 70 см, а территория наглухо огорожена и обвалована. Однако в реальности под скотомогильники часто отводили участки, не обрабатывавшиеся в полеводстве и непригодные для застройки, поэтому часто сибиреязвенные скотомогильники находятся в нескольких метрах от уреза воды. Дожди и талые воды вносят свой вклад в угрозу распространения спор. Распространение может произойти при подтоплении скотомогильника весенними водами, при раскопке необозначенных на карте и неогороженных забором захоронений, при попадании спор в грунтовые воды и т. д. По данным 2012 г. на территории РФ в паводковый период в зону затопления попадало 38 сибиреязвенных скотомогильников, не считая неучтенных объектов.

Все это свидетельствует о необходимости разработки и внедрения простых, но действенных методов обезвреживания земель, занятых захоронениями животных. При проведении обеззараживания от сибирской язвы необходимо учитывать высокую устойчивость спор возбудителя. При этом возможно применение хлорной извести, хлорамина Б, пергидроля, формалина, оксида этилена, бромистого метила и едкого натра. Кроме того, можно использовать процессы прокалывания почвы, обработки ее сухим горячим воздухом, обработки в камерах паровоздушным и пароформалиновым методом. Все эти способы имеют существенные недостатки (дороговизна, высокая токсичность реагентов для человека и окружающей среды, необходимость специального оборудования).

По данным исследований [4] большинство из испытываемых дезинфицирующих средств при внесении в почву в виде растворов связываются с ее компонентами и нейтрализуются, не обеспечивая должной дезинфекции. Большинство препаратов влажной дезинфекции почвы обеспечивает обеззараживание лишь на незначительную глубину (до 5 см).

В 80-е годы XX века был предложен эффективный газовый метод обеззараживания грунтов смесью оксида этилена и бромид метила под покрытием из полиамидной пленки, но из-за прекращения производства необходимых реагентов и материалов в настоящее время метод не используется [4].

Ко всему этому следует добавить, что использование многих препаратов для проведения дезинфекции требует ежегодной обработки.



Использование препарата "СаБиДез" в целях предупреждения чрезвычайных ситуаций на старых скотомогильниках

В целях обеззараживания земель предлагается использовать водный раствор средства "СаБиДез" методом полива грунта раствором препарата с последующим капиллярным проникновением его на глубину. "СаБиДез" — это высокоэффективный дезинфекционный препарат широкого спектра действия, не содержащий хлора, фенола и альдегидов, — веществ, опасных и токсичных для окружающей среды.

Средство "СаБиДез" представляет собой бесцветную прозрачную жидкость со слабым специфическим запахом. В качестве действующих веществ этот препарат содержит перекись водорода и алкилдиметилбензиламмонийхлорид; pH 1%-ного водного раствора данного средства равно 5,0...7,0.

"СаБиДез" обладает антимикробной активностью в отношении грамотрицательных и грамположительных бактерий (включая микобактерии туберкулеза), вирусов, грибов родов Кандида и Трихофитон, а также моющими свойствами.

По показателям качества дезинфицирующее средство "СаБиДез" должно соответствовать требованиям и нормам, указанным в табл. 1 [5].

Таким образом, дезинфицирующее средство "СаБиДез" обладает необходимой активностью по отношению к патогенным бактериям сибирской язвы, но не является токсичным в отличие от оксида этилена, бромистого метила и др. Это и явилось основанием для выбора средства "СаБиДез" в качестве обеззараживающего агента. Кроме того, наличие ПАВ в составе "СаБиДез" придает водному раствору высочайшую проникающую способность, обеспечивая доступ к бактериям и спорам, находящимся в тканях и в грунте.

Лабораторно-экспериментальное изучение дезинфицирующей активности средства "СаБиДез" [6] показало, что средство в 20 %-ной концентрации обеспечивает гибель бактерий (на примере

Таблица 1

Показатели качества дезинфицирующего средства "СаБиДез"

Показатель	Характеристика
Внешний вид	Бесцветная прозрачная жидкость
Запах	Слабый специфический
Показатель активности водородных ионов (pH) 1%-ного водного раствора средства	5,0...7,0
Массовая доля перекиси водорода, %	3,3...3,8
Массовая доля алкилдиметилбензиламмонийхлорида, %	1,4...1,6

Таблица 2

Режим дезинфекции объектов раствором средства "СаБиДез"

Объект обеззараживания	Концентрация рабочего раствора, %		Время обеззараживания, мин	Способ обеззараживания
	по препарату	по перекиси водорода		
Скотомогильник	20,0	0,70	60	Орошение

Mycobacterium B5) на поверхностях при обработке способами протирания и орошения через 60 мин.

Для обезвреживания захоронений животных необходим раствор "СаБиДез" с максимальной по препарату концентрацией (20 %). Режим дезинфекции объекта приведен в табл. 2.

С помощью лабораторной установки была изучена кинетика проникновения раствора препарата в почву. По результатам эксперимента построен график зависимости глубины проникновения дезинфицирующего средства от времени (рис. 1). Схема лабораторной установки приведена на рис. 2.

Исходя из сопоставления времени слеживания грунтов и биомассы структура захороненной органической массы не будет плотнее, чем взятый для эксперимента вблизи захоронения суглинистый грунт. Более того, по достижении слоя захороненной биомассы водный раствор дезинфектанта будет скапливаться в этой зоне, как в более рыхлой. Значит, при расчете времени, необходимого для обезвреживания скотомогильника, необходимо учесть время, за которое дезинфицирующее средство пройдет грунт вплоть до захороненной биомассы, и время непосредственного обеззараживания этих останков.

Согласно расчетам время, необходимое для обезвреживания скотомогильника раствором средства "СаБиДез" на глубину 2 м, составит 11 ч 30 мин. Расчеты показывают, что для обработки скотомогильника площадью 15 650 м² требуется 3000 м³ раствора. Однако "оконтуривание" площади, где непосредственно находятся останки, на некоторых скотомогильниках возможно только после анализа проб, отбор которых производится бурением скважин на глубину до 3,5 м.

До настоящего времени скотомогильник ежегодно обрабатывали 10 %-ным раствором хлорной извести из расчета 10 л раствора на 1 м² площади скотомогильника. Для приготовления 10 л раствора требуется 1 кг сухой хлорной извести с содержанием активного хлора не менее 25 %. При этом обеззараживалась лишь поверхность скотомогильника. Сравнение характеристик хлорной извести и дезинфицирующего средства "СаБиДез" приведено в табл. 3.

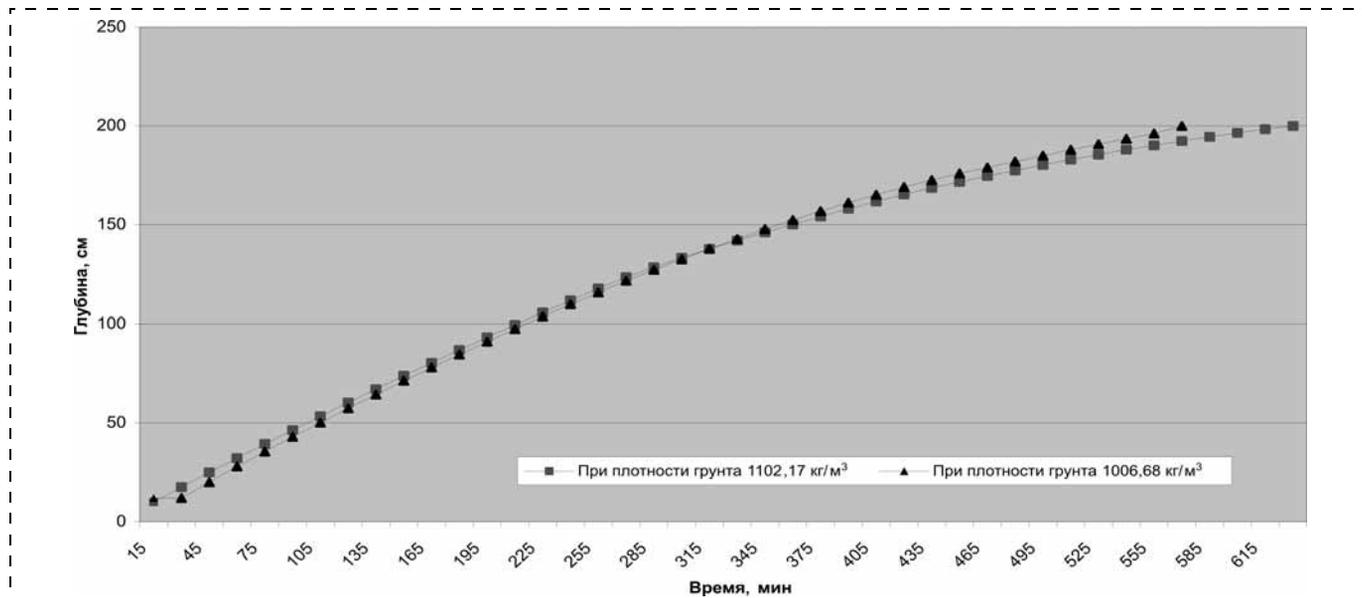


Рис. 1. Кинетика пропитки грунта дезинфицирующим средством при расходе "1 капля в секунду"

Предложенный метод с использованием препарата "СаБиДез" позволяет окончательно обезвредить старые захоронения животных. Это означает,

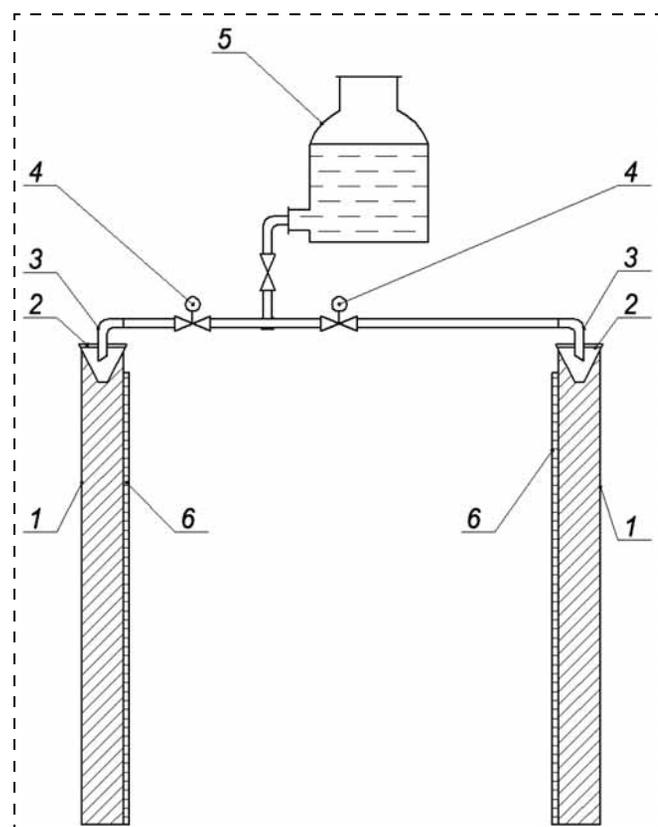


Рис. 2. Схема лабораторной установки для изучения кинетики проникновения раствора "СаБиДез" в почву:

1 — стеклянная трубка с грунтом; 2 — воронка; 3 — стеклянная трубка с капиллярным сужением; 4 — винтовой зажим; 5 — емкость с раствором "СаБиДез"; 6 — линейка

что после однократного обеззараживания скотомогильников не придется каждый год, осенью и весной обрабатывать поверхностный слой почвы захоронений хлорной известью, бромистым метилом или другим дезинфицирующим средством. Отпадет опасность распространения сибирской язвы и в случае подтопления земли скотомогильника. Землю можно будет возвратит в хозяйственный оборот. Единственным недостатком метода, как и всех существующих, является дороговизна: если площадь обеззараживаемой территории большая, соответственно потребуются и большое количество дезинфицирующего средства. При этом использование препарата "СаБиДез" в малых концентрациях гарантирует отсутствие значимого побочного отрицательного воздействия на окружающую среду и персонал, проводящий обработку,

Таблица 3
Сравнительные показатели дезинфектантов

Показатель	Известь хлорная	СаБиДез
Расход дезинфектанта для обеззараживания 1 м ² территории, м ³	0,010	0,191
Расход дезинфектанта для обеззараживания всей территории скотомогильника, м ³ /год	156,5	3000
Количество лет обеззараживания	73	1
Общий расход дезинфектанта, м ³	11 424,5	3000
Эффективность обеззараживания, %	100 Поверхностная	100 Полная



а также возможность последующего лесохозяйственного использования обрабатываемой территории. Таким образом, применение данного метода является оптимальным в целях предотвращения чрезвычайной ситуации, вызванной биологическим фактором.

Список литературы

1. **Профилактика** и борьба с заразными болезнями, общими для человека и животных. [Электронный ресурс] 6. Сибирская язва. Санитарные правила. СП 3.1.089—96. Ветеринарные правила ВП 13.3.1320—96 (утв. Госкомсанэпиднадзором РФ 31.05.1996 № 11, Минсельхозпродом РФ 18.06.1996 № 23, с изм. от 19.07.2010). Доступ из справ.-правов. системы "Консультант-Плюс".
2. **Ветеринарно-санитарные правила** сбора, утилизации и уничтожения биологических отходов от 1996 г. в редакции Приказа Минсельхоза РФ от 16.08.2007 № 400 [Электронный ресурс] Доступ из справ.-правов. системы "Консультант-Плюс".
3. **Гаврилов В. А.** Биологическая опасность сибирезвенных скотомогильников и перспективы решения существующей проблемы // Жизнь без опасностей. 2008, 2009. №№ 4, 1.
4. **Волковский Г. Д., Попов Н. И.** О состоянии и перспективе применения газового метода дезинфекции сибирезвенных скотомогильников и способах обеспечения их безопасности // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2010. № 2. С. 81—84.
5. **Цвилова И. М., Федорова Л. С., Пантелеева Л. Г.** и др. Инструкция по применению дезинфицирующего средства "СаБиДез". — М.: ФГЕН НИИД Роспотребнадзора, 2006. — 20 с.
6. **Пантелеева Л. Г., Федорова Л. С.** Лабораторно-экспериментальное изучение дезинфицирующей активности средства "СаБиДез": Научный отчет. — М., 2006. — 20 с.

УДК 504.75.05

В. Д. Елхова¹, канд. техн. наук, доц., Уфимский государственный нефтяной технический университет, **О. И. Елхова**², д-р филос. наук, доц., Башкирский государственный университет, г. Уфа
E-mail: elhova@pochta.ru

Экология человека и проблема демеркуризации

Приведены данные анализа современной экологической проблемы демеркуризации, рассмотрено воздействие на окружающую среду и человека ртути и ее соединений. Показана экологическая опасность, которую несут данные вещества, попадая в окружающую среду в результате антропогенной деятельности.

Ключевые слова: проблема демеркуризации, экология человека, антропогенное воздействие на окружающую среду, экологическое мировоззрение

Elkhova V. D., Elkhova O. I. Human Ecology and the Problem of Demercurisation

The article is analysis of modern environmental problems of demercurisation, discusses the impact of mercury and its compounds to the environment and humans. Shows environmental hazards these substances.

Keywords: problem of demercurisation, human ecology, human impact on the environment, ecological ideology

В настоящий период развития общества возрастает потребность в анализе экологических проблем, возникает необходимость формирования экологического мировоззрения, нивелирующего

противоречия во взаимоотношениях человека и природы. Комплексным научным направлением, в котором рассматриваются все стороны воздействия окружающей среды на людей, является экология человека. Данное направление отличается практической направленностью. Целью экологии человека является создание и поддержание безопасной, экологически чистой и социально-комфортной среды обитания человека, предупреждение катастроф техногенного происхождения. Эколого-гигиеническая безопасность человека обеспечивается путем экологического нормирования, определяющего предельно допустимое антропогенное воздействие на окружающую среду. Экология человека должна дополняться философскими исследованиями, которые позволяют глубже осмыслить современные экологические проблемы и помогают в обосновании и разработке наиболее общих регулятивов жизнедеятельности человека.

Человечество должно перестать изменять природу необдуманно и безответственно, не учитывая требований законов экологии. На сегодняшний день выявлено много новых данных о превращении ртути и ее соединений в окружающей среде, об их токсичности, о содержании соединений ртути в атмосфере, литосфере, в растениях и живых

организмах. Ртуть имеет первый класс опасности, т. е. это чрезвычайно опасное химическое вещество, и ее утилизация должна быть обеспечена должным образом.

Ртуть является типичным представителем кумулятивных ядов, т. е. имеет способность к биоаккумуляции, которая состоит в том, что малые дозы, представляемые безвредными, в течение длительного времени накапливаются организмом и в итоге создают предельную токсичную концентрацию, наносящую ущерб здоровью. Биоаккумуляция имеет место в виду невозможности биодеградации тяжелых металлов. Соединения ртути легко поглощаются и практически не выводятся из организма, они прочно связываются с белками и накапливаются в теле человека как на фильтре. К сожалению, биоаккумуляцию трудно заметить до достижения опасного уровня токсиканта в организме.

Проблема загрязнения ртутью окружающей среды приобрела мировой масштаб. Следует обратить внимание, что в Мировом океане уже накопилось около 50 млн т соединений ртути. Вынос ртути через реки в океан продолжается и составляет не менее 5 тыс. т в год. Попадая в окружающую среду, ртуть не становится менее опасной, наоборот, под действием биоты происходит образование ее органических соединений метилртути и диметилртути, которые являются суперэкотоксикантами. Данные соединения накапливаются в рыбе и через ее потребление попадают в человеческий организм. Они способны проникать через клеточную мембрану, действовать непосредственно на функционально активные центры клеток, вмешиваться в белковый синтез и нарушать механизм образования двойной спирали ДНК, что влечет за собой ярко выраженные мутации [1].

Вторая половина XX века отмечена экологической катастрофой, произошедшей в рыбацком поселке Минамата в Японии. Химическое предприятие осуществляло выброс содержащих ртуть отходов в реку, впадающую в залив, где осуществляли свой промысел рыбаки Минаматы. Ртуть, оседавшую в донных отложениях, поглощали микроорганизмы и в процессе метаболизма преобразовывали в метилртуть. Данное органическое соединение ртути, в свою очередь, концентрировалось в пищевой цепи, попадая через рыб к кошкам и людям. Эффект ртутного отравления (судороги, частичный паралич, далее кома и смерть) был сначала замечен у кошек, они пострадали в первую очередь, поскольку питались исключительно остатками рыбы. Синдромы, вызываемые отравлением органическими соединениями ртути, получили название "Болезнь Минамата". Данная болезнь унесла из

жизни сотни людей, многие жители поселка получили серьезные заболевания костей и нервной системы. Появились дети, которые родились с патологией в результате воздействия метилртути. В наши дни трагедия продолжает напоминать о себе уродливыми телами и умственной отсталостью жителей Минаматы [2, с. 330].

Источников поступления ртути и ее соединений в окружающую среду разделяют на природные и антропогенные группы. Основным антропогенным источником ртути, загрязняющим атмосферу, почву, грунтовые воды, была химическая промышленность, бурное развитие которой наблюдалось в 60-е годы прошлого столетия в нашей стране. Россия выходила на передовые рубежи во многих отраслях экономики. Однако основная масса людей не понимала всей опасности, которую несут химические соединения, попадая в окружающую среду. Так, при пуске производств получения хлора и каустика электрохимическим методом с использованием ртутных катодов происходили большие потери ртути. При загрузке ртути в электролизеры происходили ее проливы, она растекалась в производственных помещениях по полу. Ртуть попадала в канализацию, в грунтовые и поверхностные воды, испарялась в атмосферу, а затем оседала и концентрировалась в почве. Постепенно тревога за свое здоровье и здоровье своих детей изменяла сознание людей, они старались минимизировать потери ртути.

Осознание того, что ртуть и ее соединения опасны для окружающей природной среды, позволило принять решения о закрытии цехов ртутного электролиза как в странах Западной и Восточной Европы, так и в России и странах СНГ. Но вместе с тем, остается актуальной сверхсложная, требующая больших финансовых вложений, задача демеркуризации существующих очагов ртутного загрязнения. При эксплуатации цеха электролиза в течение нескольких лет в бетонных полах и грунтах внутри зала электролиза накапливаются около одной тысячи тонн ртути, десятки тонн оказываются рассеянными на территории, примыкающей к цеху электролиза, вдоль дорог, на площадках хранения отходов и деталей электролизеров [3].

Разработанные проекты демеркуризации предусматривают демонтаж здания, при этом бетонные блоки разбиваются на куски, которые загружаются в камерные вакуумные электропечи периодического действия, где при высоких температурах из бетона испаряется ртуть. После окончания нагревания печь продувается воздухом, из которого после охлаждения конденсируется металлическая ртуть. Степень извлечения ртути данным способом не превышает 95 %. Куски бетона с



остаточным содержанием ртути подлежат захоронению в могильнике. Грунты территории, прилегающей к производству, также подвергаются специальной обработке. Очевидно, что представленные технологии очень трудоемкие, требуют больших затрат и не позволяют полностью извлечь ртуть из перерабатываемых материалов [4, с. 18—20].

Существует более простой способ демеркуризации, при котором ртуть остается в местах скопления, когда вокруг очагов ртутного загрязнения в грунте по всему периметру устанавливается глиняная противодиффузионная завеса по типу "стена в грунте". От атмосферы очаги ртути изолируются также специальными глиняными экранами. Все здания разбираются и их строительные конструкции укладываются в могильник, а затем заливаются цементным раствором. Данный способ демеркуризации является временным решением проблемы, который в дальнейшем даже затруднит извлечение ртути из очагов ее скопления [4, с. 20—21].

В свете сказанного отметим, что несвоевременное решение экологических проблем только усиливает их негативное воздействие на окружающую среду, решение проблемы на более поздних этапах становится намного труднее и дороже. Так, демеркуриационные работы в Японии продолжались 50 лет, их стоимость составила 2 млрд долл. США [5]. Показателен тот факт, что до сих пор в мире, кроме залива Минамата в Японии, не было проведено крупномасштабных демеркуриационных работ, предотвращающих негативное воздействие ртути на окружающую природу и здоровье человека. Отметим, что и в самой Японии демеркуризация была осуществлена под сильным давлением общественности, судебных органов и средств массовой информации.

Однако крупномасштабное загрязнение соединениями ртути окружающей среды продолжается и в настоящее время, наиболее распространенным источником угрозы загрязнения являются неправильно организованные свалки. Все большую популярность у российских потребителей приобретают энергосберегающие лампы (компактные люминесцентные лампы), обладающие существенно большей светоотдачей в сравнении с лампами накаливания.

Большая часть населения обращает внимание только на потребляемую лампой энергию и ее стоимость и совсем не задумывается об экологической безопасности люминесцентных ламп. В то время как люминесцентные лампы имеют очень серьезный недостаток — они неэкологичны: внутри них присутствуют пары ртути, которые и дают свечение в тлеющем разряде. Данный факт не имеет никакого значения при работе лампы, но очень

опасен при ее разгерметизации, поэтому они требуют специальной утилизации. Однако инфраструктура для утилизации энергосберегающих ламп в России не достаточно развита, мощностей существующих предприятий, занимающихся утилизацией ртутьсодержащих ламп, не хватает для того, чтобы принять на себя весь объем использованных энергосберегающих ламп.

Во многих городах нет специальных пунктов приема отработанных ламп, поэтому большая их часть попадает в мусоропровод и уличные мусорные контейнеры, в результате в каждом городе на свалку за год вывозится несколько тонн ртутьсодержащих ламп. Просачиваясь сквозь почву, вода уносит соединения ртути в грунтовые воды. Получается, что технологические новинки только создают иллюзию экономии, а вместе с тем способны отнять у человека здоровье, что уже само по себе перечеркивает любые возможные "плюсы". В итоге человек становится жертвой собственной беспечности, которая в свою очередь становится двигателем механизма самоуничтожения.

Рассматривая динамику современного мира, его фундаментальные закономерности, можно сделать выводы относительно дальнейшего развития человечества. Приходится констатировать, что в эпоху общества потребления большая часть потенциала развития человечества трансформировалась в энергию разрушения. Это находит свое выражение в бессмысленном и беспредельном накоплении материальных богатств за счет неминуемого уничтожения биосферы Земли. Так, В. В. Оленев и А. П. Федотов, отмечая выход за допустимые пределы антропогенной нагрузки на биосферу Земли, оказываемой жизнедеятельностью человечества, определяют общий вектор развития человечества как стремление в "небытие" [6, с. 25].

Современное общество не удовлетворяет базовой потребности человека — потребности контакта с природой. В то время как нацеленность современной цивилизации на потребление как философию действия и образа жизни является для человечества самоуничтожающей. В обществе потребления возникает надындивидуальная реальность, имеющая характер силового социокультурного поля, которое определяет желания и интересы отдельного человека, принуждает его к определенным жизненным стратегиям и действиям. В условиях всеобщей гонки потребления появляется определенный тип личности с соответствующей системой ценностей и установок.

Необходима смена смысловых ориентиров развития цивилизации, ее переориентация на иные смысловые модальности, одной из которых может стать направленность человека на духовное совер-

шенство и творческое саморазвитие, которые, в принципе, пределов не имеют. В основе развития человечества должен быть положен принцип "не навреди", технологии должны разрабатываться так, чтобы они встраивались в природные сферы Земли, ни одним из своих аспектов не влияя негативно на ее структуру, не нанося вред планете, а облагораживая ее. Такой единый эволюционный процесс развития человека и окружающей среды направлен на благо будущих поколений.

Очевидно, что представленная проблема демеркуризации требует срочных и эффективных решений, общественность должна осознавать ее серьезность и глобальность. Экологические проблемы, вызванные антропогенным воздействием на окружающую среду, зависят напрямую от мировоззрения человека. Основная цель философии экологии человека заключается в формировании экологического мировоззрения, когда человек воспринимает окружающий его природный мир, как часть самого себя. Глобальный экологический кризис — это, прежде всего кризис мировоззренческий, требую-

щий для своего разрешения серьезных изменений в сознании каждого человека.

Список литературы

1. **Петросян В. С.** Глобальное загрязнение ртутью и ее соединениями // Россия в окружающем мире / Под ред. Н. Н. Марфенина и С. А. Степанова. — М.: Изд-во МНЭ-ПУ, 2007. — С. 149—163.
2. **Небел Б.** Наука об окружающей среде: как устроен мир: в 2-х томах. Т. 1. Пер. с англ. — М.: Мир, 1993. — 424 с.
3. **Ullrich S. M., Iyushchenko M. A., Kamberov I. M., Panichkin V. Y., Tanton T. W.** Mercury pollution around a chlor-alkali plant in Pavlodar, Northern Kazakhstan // RMZ-Materials and Geoenvironment. Special issue: Mercury as a Global Pollutant. Almaty, 2004. — P. 298—302.
4. **Iyushchenko M. A., Abdrashitova S. A., Tanton T. W., Heven S., Yanin E. P.** Results of research into mercury pollution of the river Nura in Central Kazakhstan and proposals for demercurisation // Materials of the Second Congress in memory of B. A. Beremzhanov in Chemistry and Chemical Technologies. — Almaty: Vestnik KazGU. Chemistry series. 1999. — № 5. — P. 18—21.
5. **Minamata Disease:** The History and Measures [Electronic resource] // URL: <http://www.env.go.jp/en/index.html> (last accessed: 30.03.2013).
6. **Оленьев В. В., Федотов А. П.** Глобалистика на пороге XXI века // Вопросы философии. — 2003. — № 4. — С. 18—30.

УДК 519.812.3

А. Н. Одинцов¹, канд. техн. наук, доц., **Р. Р. Байзигитова**², асп.,
Е. К. Паньков¹, магистр, **А. И. Севриков**¹, магистр

¹ Севастопольский национальный технический университет

² Уфимский государственный авиационный технический университет

E-mail: siranami@yandex.ru

Уточнение методологии оптимизированного выбора средств контроля по метрологическому обеспечению объектов повышенной опасности

Предложен уточненный подход оптимизированного выбора средств контроля по метрологическому обеспечению объектов повышенной опасности как одному из условий оптимизации эргатических систем контроля. Приведены выражения критериев оптимизации в виде частных целевых функций и оценочных критериев обработки данных измерений.

Ключевые слова: функция, уравнение, оптимизация, средство контроля, эргатическая система

Odintsov A. N., Bayzigitova R. R., Pankov E. K., Sevrikov A. I. Refinement of Methodologies to Optimize the Choice Controls on Metrological Support of Heightened Danger

Propose a refined approach to optimize the choice of controls on metrological support of heightened danger, as one of the conditions for optimizing the information ergatic systems. The expressions of the optimization criteria in the form of partial target functions and evaluation criteria of measurement data processing.

Keywords: function, equation, optimization, mean of control, ergatic system



1. Актуальность, постановка и цель исследования

Среди объектов повышенной опасности особую опасность представляют взрывоопасные и объекты с вредными веществами 1-го и 2-го классов опасности. На объектах повышенной опасности производятся, обращаются, хранятся, применяются или транспортируются взрывоопасные, ядовитые, токсические и отравляющие вещества. К ним относятся: газы, пары, пыли, газо-паро-пылевоздушные смеси, взрывчатые вещества и др.

Особого внимания заслуживают объекты окружающей природной среды, требующие достоверного и точного контроля в связи с возрастающим уровнем техногенного загрязнения вредными и опасными веществами.

В основе предупреждения аварий находится, в первую очередь, активный контроль с помощью автоматизированных быстродействующих систем с точными и надежными средствами измерения (приборами, индикаторами, датчиками, преобразователями), чувствительными к признакам опасностей в начальный период их возникновения. Эти средства измерения и системы в целом имеют различные метрологические характеристики, исполнение и стоимость. Это обуславливает различные технико-экономические показатели, и, как следствие, эффективность контроля и защиты объектов разной стоимости. Таким образом, возникает необходимость оптимизации выбора средств контроля и систем в целом, что определяет **актуальность** данного исследования.

Системы контроля и защиты объектов в безопасности жизнедеятельности, охране труда, пожарной безопасности, экологии и охранной деятельности получили название эргатические. Структурно они представляют собой подсистему контроля, активной защиты и человека-оператора, т. е. являются трехзвенными: техника — оператор — среда. В этих системах человек иногда имеет решающее значение, если оценивать эффективность их по конечному результату — предупреждению аварии, устранению или локализации опасной ситуации.

В настоящее время не имеется рабочей методики и даже методологического подхода оптимизации эргатических систем и оптимизированного выбора средств контроля. Имеется единственная учебная методика А. Д. Забежинского [1] по оптимальному выбору средств контроля в машиностроении по показателю выходного параметра продукции предприятия, однако эта методика не универсальна для применения в различных условиях и отраслях.

Результаты проводимых исследований по оптимизации эргатических систем и оптимизированному выбору средств контроля нашли отражение

в публикациях [2, 3] и др. Из этих работ следует, что оптимизация должна проводиться по четырем основным условиям: 1) исполнению средств контроля и систем в целом; 2) метрологической обеспеченности; 3) информационно-разрешающей целесообразности; 4) технико-экономической целесообразности. Алгоритм решения обозначенной проблемы определен взаимоподчиненностью условий в отмеченной выше последовательности. Особую роль в эффективности эргатических систем играет подсистема контроля.

Углубление исследований, направленных на повышение безопасности объектов повышенной опасности, контролируемых и защищаемых эргатическими системами, вызвало необходимость уточнения методологии их оптимизации, что является основанием постановки дальнейших задач. Очевидно, что повышение качества контроля может быть достигнуто ужесточением условий получения измерительной информации о лимитирующих параметрах (факторах, признаках) возникновения опасной ситуации.

Цель данного исследования — уточнение методологии оптимизированного выбора средств контроля объектов повышенной опасности и совершенствование оценочных критериев обработки измерительной информации.

2. Результаты исследования

Качество контроля в основном определяется точностью измерения лимитирующих параметров контролируемой среды. Критерием точности является погрешность измерения $\Delta_{из}$. При разработке и эксплуатации средств контроля производится их выбор. Для этого назначаются предельно допустимые погрешность измерения $\Delta_{из.lim}$ и погрешность средств измерения $\Delta_{сп.lim}$.

2.1. Частная целевая функция и условия оптимизированного выбора средств контроля

Критерием оптимизированного выбора средств контроля из массива возможных, отобранных на первом этапе по свойству их исполнения, принимается частная целевая функция вида

$$\Delta = f(\Delta_{lim}). \quad (1)$$

Безопасность функционирования объектов повышенной опасности и, в первую очередь взрывоопасных и содержащих вредные вещества, предъявляет повышенные требования к точности измерения лимитирующих параметров, характеризующих степень опасностей. Эти требования могут быть удовлетворены, если в критерий выбора средств контроля (1) ввести показатель повышения безопас-

ности $K_{\text{ср}}$. Тогда условия оптимизированного выбора средств контроля принимают вид:

$$\Delta_{\text{пас}} \leq K_{\text{ср}} \Delta_{\text{ср.lim}} \leq \Delta_{\text{н}}; \quad (2)$$

$$\Delta_{\Sigma} \leq K_{\text{ср}} \Delta_{\text{ср.lim}} \leq \Delta_{\text{р}}. \quad (3)$$

Здесь $\Delta_{\text{пас}}$ — паспортная погрешность (характерна для индивидуальных средств: приборов, мер, преобразователей, индикаторов, датчиков); Δ_{Σ} — суммарная расчетная погрешность (характерна для групповых средств: лабораторных методов анализа и систем измерения); $\Delta_{\text{ср.lim}}$ — предельно допустимая погрешность средств измерения, назначается разработчиком (метрологом); $\Delta_{\text{н}}$ — нормированное значение погрешности измерения, величина которого определяется видом контролируемого параметра и условиями измерения; $\Delta_{\text{р}}$ — регламентированная погрешность метода, принципа, системы измерения, отраженная в конструкторско-технологической документации, нормативно-руководящих и других документах.

В выражениях (2) и (3) значения коэффициента повышения безопасности $K_{\text{ср}}$ назначаются отдельно для средств контроля взрывоопасной среды $K_{\text{вз.}i}$ в зависимости от их типа взрывозащиты ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) и для среды, содержащей вредные вещества, $K_{\text{вв.}i}$ в зависимости от их класса опасности ($i = 1, 2, 3, 4$). На основании требований стандартов (ГОСТ 12.1.018—93 ССБТ. Пожаровзрывобезопасность статического электричества, ГОСТ 12.1.004—91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования) и экспертных оценок предлагаются следующие ориентировочные значения: $K_{\text{вз.}1} = 0,6$; $K_{\text{вз.}2} = 0,7$; $K_{\text{вз.}3} = 0,4$; $K_{\text{вз.}4} = 0,8 \dots 0,9$; $K_{\text{вз.}5} = 0,5$. Для невзрывоопасных смесей и средств контроля в нормальном исполнении предлагается $K_{\text{ср.}0} = 1,0$.

Ориентировочные значения $K_{\text{вв.}i}$ для средств контроля вредных веществ определяются на основании требований РД 52.04.186—89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы. По степени вредности в виде безразмерной константы C_i присвоенной вредным веществам в соответствии с их классом опасности ($C_1 = 1,7$; $C_2 = 1,3$; $C_3 = 1,0$; $C_4 = 0,9$), предлагается назначать коэффициент повышения безопасности для 1-го и 2-го классов с

учетом выражения $K_{\text{вв.}i} = \frac{1}{C_i}$, а для 3-го и 4-го

классов с учетом последовательной половины разности между классами. В этом случае ориентировочные значения $K_{\text{вв.}i}$ для вредных веществ: чрезвычайно опасных 1-го класса $K_{\text{вв.}1} = 0,6$; высокоопасных 2-го класса $K_{\text{вв.}2} = 0,8$; умеренно опасных 3-го класса $K_{\text{вв.}3} = 0,9$; малоопасных 4-го класса

$K_{\text{вв.}4} = 0,95$. Условно "вредным" веществам (не входящим в отмеченные классы опасности), на которые не устанавливаются ПДК, и для 5-го класса, установленного стандартом [4], назначается $K_{\text{вв.}0} = 1,0$. Предложенные значения коэффициента повышения безопасности $K_{\text{ср}}$ при выборе средств контроля объектов повышенной опасности подлежат уточнению опытным путем.

2.2. Уточнение методики оптимизированного выбора индивидуальных средств контроля

В основе оптимизированного выбора средств контроля лежит предельно допустимая погрешность измерения $\Delta_{\text{из.lim}}$ контролируемого параметра, определенная исходя из его нормативного значения. Выбор средств контроля осуществляется в несколько этапов.

1-й этап. Из нормативного документа (ГОСТ, СНИП, правил безопасности и др.) принимается нормируемое значение $E_{\text{н}}$ контролируемого параметра.

2-й этап. Задается допустимое отклонение $\Delta E_{\text{н}}$ от нормированного значения $E_{\text{н}}$. На практике это отклонение составляет 25...50 % от нормы. В этом случае

$$\Delta E_{\text{н}} = (0,25 \dots 0,5) E_{\text{н}}. \quad (4)$$

3-й этап. Назначается предельно допустимая погрешность измерения. Она оставляет 25...50 % от допустимого отклонения, т. е. абсолютная погрешность

$$\Delta_{\text{из.lim}} = (0,25 \dots 0,50) \Delta E_{\text{н}}; \quad (5)$$

относительная погрешность в долях и в процентах соответственно

$$\delta_{\text{из.lim}} = \frac{\Delta_{\text{из.lim}}}{E_{\text{н}}} \text{ и } \delta_{\text{из.lim}} = \frac{\Delta_{\text{из.lim}}}{E_{\text{н}}} 100. \quad (6)$$

4-й этап. Назначается предельно допустимая погрешность средства измерения. На практике она составляет 20...75 % от погрешности измерения. В этом случае абсолютная погрешность

$$\Delta_{\text{ср.lim}} = (0,2 \dots 0,75) \Delta_{\text{из.lim}}, \quad (7)$$

относительная погрешность в процентах и долях соответственно

$$\delta_{\text{ср.lim}} = (0,2 \dots 0,75) \frac{\Delta_{\text{из.lim}}}{E_{\text{н}}} 100, \\ \delta_{\text{ср.lim}} = (0,2 \dots 0,75) \frac{\Delta_{\text{из.lim}}}{E_{\text{н}}}. \quad (8)$$

Объективность назначения погрешностей в основном зависит от опыта разработчика или метролога, их умения и знания предельных интервалов, приведенных в скобках выражений (4)—(8).



Для средств измерения с разными диапазонами измерений, непостоянной погрешностью по диапазону и при нулевом значении E_H , когда погрешность обращается в бесконечность, введена приведенная ниже погрешность (%)

$$\gamma_{cp.lim} = (0,2...0,75) \frac{\Delta_{из.lim}}{X_N} 100, \quad (9)$$

где X_N — нормированное значение; правила выбора X_N приводятся в ГОСТ 8.401—80 Классы точности средств измерения. Общие требования.

5-й этап. Ужесточаются условия выбора индивидуальных средств контроля объектов повышенной опасности путем введения в погрешности коэффициента повышения безопасности K_{cp} для средств контроля в зависимости от типа их взрывозащиты $K_{вз.i}$ и для контроля вредных веществ в зависимости от класса их опасности $K_{вв.i}$. Назначаемая абсолютная, относительная или приведенная погрешность средства измерения определяется соответственно по выражениям:

$$\begin{aligned} \Delta_{cp.i} &= K_{cp.i} \Delta_{cp.i.lim}; \delta_{cp.i} = K_{cp.i} \delta_{cp.i.lim}; \\ \gamma_{cp.i} &= K_{cp.i} \gamma_{cp.i.lim}. \end{aligned} \quad (10)$$

6-й этап. Производится выбор средств измерения по метрологическим характеристикам из ранее принятых средств по их исполнению. Выбор производится по паспортной погрешности ($\Delta_{пас}$, $\delta_{пас}$ или $\gamma_{пас}$), которая не должна превышать назначенной и нормированной погрешностей по выражению

$$\Delta_{пас} \leq \Delta_{cp.i} \leq \Delta_H, \quad (11)$$

и аналогичными ему для $\delta_{пас}$ и $\gamma_{пас}$, соответствующими условию (2).

Выбранные таким образом средства контроля по точности оцениваются по другим метрологическим характеристикам, например, диапазону измерения, нижнему пределу взрываемости смесей, чувствительности, что очень важно для контроля снижения концентраций вредных веществ до предельно допустимых уровней. Принятые средства контроля по метрологическому обеспечению подлежат дальнейшему анализу по информационно-разрешающей способности и технико-экономической целесообразности, в результате чего определяется оптимальный вариант.

2.3. Уточнение методики оптимизированного выбора групповых средств контроля вредных веществ

К групповым (многокомпонентным) средствам контроля относятся лабораторные методы анализа, системы, установки. В публикациях [2, 3] изложена методика ориентировочного и уточненного выбора средств контроля по условию — метрологическое обеспечение измерений. Данная методика разработана на основе требований к методикам измерения концентраций вредных веществ, приведенных в ГОСТ 12.1.016—79 Воздух рабочей зоны [4]. Однако эта методика не учитывает особенностей взры-

воопасных смесей, вредных веществ классов повышенной опасности и некоторых особенностей метрологической обработки данных измерений. Учет отмеченных особенностей позволяет усовершенствовать эту методику с сохранением требований указанного стандарта и распространить ее на объекты повышенной опасности.

Предлагаемый уточненный оптимизированный выбор групповых средств контроля проводится по схеме изложенного выше выбора индивидуальных средств контроля за исключением того, что вместо назначения предельно допустимой погрешности измерения $\Delta_{из.lim}$ или $\delta_{из.lim}$ по формулам (5), (6) (этап 3), рассчитывается суммарная погрешность Δ_{Σ} или δ_{Σ} . Расчет производится по каждому элементу метода или системы с оценкой всех составляющих суммарной погрешности. Согласно ГОСТ 12.1.016—79 [4] рассчитываются составляющие θ ; систематической погрешности и ее доверительная граница θ . При этом важнейшей составляющей систематической погрешности является погрешность построения градуировочного графика, которая оценивается по данным наблюдения лабораторного анализа по всему интервалу концентраций вредного вещества. Ряды этих наблюдений необходимо проверить на аномальность, т. е. на наличие в них грубых погрешностей измерения, к сожалению в стандарте [4] не предусмотрена эта процедура. В предлагаемой методике оценка грубых погрешностей (промахов) выполняется по стандартному критерию ГОСТ 11.002—73 Правила оценки аномальности результатов измерений. В этом случае оцениваются сомнительные данные наблюдений X_{max} либо X_{min} в выборках (сериях) по выражениям:

$$v = \frac{X_{max} - \bar{X}}{S}; v = \frac{\bar{X} - X_{min}}{S}, \quad (12)$$

где \bar{X} — среднее арифметическое значение; S — среднеквадратическое отклонение. Распределение значений v табулировано. Из таблицы ГОСТ 11.002—73 при заданной доверительной вероятности α и числе наблюдений N (с учетом сомнительных данных) выбирается v_T и сравнивается с расчетным v . Если

$$v \geq v_T, \quad (13)$$

то сомнительные данные наблюдений X_{max} или X_{min} содержат грубую погрешность и поэтому из выборки исключаются, а если

$$v < v_T, \quad (14)$$

то остаются.

После исключения этих данных снова определяются N , \bar{X} , S . При этом доверительные границы результата измерения будут значительно точнее, а тарировочный график наиболее достоверен. Это очень важно для объектов повышенной опасности. Для этих условий предлагается ужесточение условий оценок показателей путем введения коэффициента повышения безопасности K_{cp} в виде $K_{вз.i}$

или $K_{\text{ВВ},i}$ (обоснованного выше) в зависимости от наличия контролируемого на объекте взрывоопасного или вредного вещества. При этом условия (13) и (14) оценки наличия грубой погрешности принимают вид:

$$v \geq K_{\text{ср}} v_T; v < K_{\text{ср}} v_T. \quad (15)$$

Случайная составляющая погрешности измерения вредного вещества рассчитывается в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.016—79 [4]. Для этого рассчитывается среднее арифметическое значение концентрации вредного вещества \bar{C} , среднеквадратические отклонения единичных наблюдений S и результата измерения $S_{\bar{C}}$, необходимые для построения градуировочного графика. Прежде чем вычислить \bar{C} , S и $S_{\bar{C}}$ следует выполнить первоначальную обработку данных измерений с целью исключения наблюдений, содержащих грубые погрешности, что не предусмотрено стандартом [4]. При этом принимаются условия (15). Определению рассматриваемых характеристик предшествует оценка рядов (серий) измерений на равномерность (равноточность), что также не предусмотрено стандартом [4]. Если выявлено, что ряды измерений равномерные, т. е. одинаково достоверные, то это свидетельствует о том, что они принадлежат к одной совокупности и обрабатываются, как для одной выборки прямых измерений с определением среднего арифметического \bar{C} и среднеквадратических отклонений S и $S_{\bar{C}}$.

Если же ряды наблюдений неравномерные, то они принадлежат к разным совокупностям и обработка данных выполняется как для одной выборки с определением средневзвешенного \bar{C}_0 и среднеквадратических отклонений S_i и $S_{\bar{C}_0}$.

Для определения гипотезы о равномерности измерений при большом числе опытов ($n > 30$) используется распределение Фишера. На практике чаще всего имеем дело с малыми выборками ($n < 30$), что предусмотрено и стандартом [4]. В этом случае удобнее использовать распределение Стьюдента с вычислением параметра t парных рядов (серий) на основании их средних арифметических значений \bar{X}_1 и \bar{X}_2 по выражению

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}, \quad (16)$$

где n_1 и n_2 — число наблюдений в первой и второй группах (сериях) соответственно.

Задавшись доверительной вероятностью P , по таблице распределения Стьюдента при числе степеней свободы $R = n_1 + n_2 - 2$ принимается предельное значение t_p . Расчетное t и табличное t_p сравниваются по модулю и проверяется гипотеза о равномерности рядов измерения по условию

$$t < t_p; t > t_p. \quad (17)$$

Если $t < t_p$, то ряды равномерные и обрабатываются как для одной выборки с нормальным распределением, что дает большую достоверность результата измерения. Если $t > t_p$, то ряды измерений являются неравномерными и обработка производится как одной выборки с учетом их "веса" α_j . При этом точность общего результата измерения повышается. С учетом предлагаемого ужесточения условий оценок рядов измерений на равномерность для объектов повышенной опасности при помощи коэффициента $K_{\text{ср}}$ в виде $K_{\text{ВВ},i}$ и $K_{\text{ВВ},i}$, условия (17) принимают следующий вид:

$$t < K_{\text{ср}} t_p; t > K_{\text{ср}} t_p. \quad (18)$$

В этом случае определяется средневзвешенное \bar{X}_0 , а не среднее арифметическое \bar{X}_1 по выражению

$$\bar{X}_0 = \frac{\sum_{j=1}^l \frac{1}{\sigma_{\bar{X}_j}} \bar{X}_j}{\sum_{j=1}^l \frac{1}{\sigma_{\bar{X}_j}}}, \quad (19)$$

где $\frac{1}{\sigma_{\bar{X}_j}} = \alpha_j$ — величины, обратные дисперсиям групп j наблюдений, называемые весовыми коэффициентами истинного значения измеряемой величины; l — число групп наблюдений; \bar{X}_j — среднее арифметическое каждой группы.

При этом выражение (19) принимает вид:

$$\bar{X}_0 = \frac{\sum_{j=1}^l \alpha_j \bar{X}_j}{\sum_{j=1}^l \alpha_j}. \quad (20)$$

Дисперсия средневзвешенного определяется как обратная величина суммы весов

$$S_{\bar{X}_0}^2 = 1 / \sum_{j=1}^l \alpha_j,$$

а его среднеквадратическое отклонение

$$S_{\bar{X}_0} = \left(\sum_{j=1}^l \alpha_j \right)^{-1/2}. \quad (21)$$

Доверительная граница результата измерения ε по случайному среднеквадратическому отклонению результатов измерения $S_{\bar{C}}$ для равномерных наблюдений, определяется из выражения

$$\varepsilon = t_p S_{\bar{C}}, \quad (22)$$



а для неравнорассеянных

$$\varepsilon = t_p S_{\bar{X}_0} = t_p S_{\bar{C}_0}. \quad (23)$$

Значение $t_p = z$ принимается из таблицы интегральной функции $\Phi(z)$ при выборках с числом данных $n > 30$ и заданной доверительной вероятности P . В этом случае $\Phi(z) = \frac{P+1}{2}$. При малых выборках пользуются таблицей распределения Стьюдента, из которой при числе степеней свобо-

$$ды R = \frac{\left(\sum_{j=1}^l \alpha_j \right)}{\sum_{j=1}^l \left(\frac{1}{n_j+1} \alpha_j^2 \right) - 2} \text{ выбирается значение } t_p.$$

Истинное значение концентраций вредного вещества C для равнорассеянных измерений с учетом выражения (22) находится в пределах $C = \bar{C} \pm \varepsilon$, а для неравнорассеянных с учетом выражения (23) $C = \bar{C}_0 \pm \varepsilon$.

Оценка суммарной (общей) погрешности результата измерения Δ_Σ или δ_Σ вредных веществ определяется в зависимости от соотношения систематической погрешности θ и случайной $S_{\bar{C}}$ или $S_{\bar{C}_0}$ ($\theta/S_{\bar{C}}$, $\theta/S_{\bar{C}_0}$) составляющих в соответствии с ГОСТ 8.207—76 Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Выполнив рассмотренные выше вычислительные процедуры, рассчитывается суммарная Δ_Σ или δ_Σ погрешность по каждому анализируемому методу контроля вредных веществ. На этом же этапе принимаются регламентирующие погрешности Δ_p или δ_p измерения из нормативно-руководящих документов. Например, согласно ГОСТ 12.1.016—79 [4] учитывается, что погрешность измерения объема пробы не должна превышать $\pm 10\%$, допустимое отклонение определения количества вредного вещества в пробе до 10% , а общая погрешность измерения не более $\pm 25\%$. В этом случае принимается регламентирующая погрешность $\delta_p \leq 25\%$.

На 4-м этапе выбора средств измерений метрологом, должностным лицом назначается предельно допустимая погрешность метода (принципа) измерения $\Delta_{M.lim}$ или $\delta_{M.lim}$ с учетом ужесточения условий выбора средств контроля вредных веществ в зависимости от класса их опасности коэффициентом повышения безопасности $K_{ВВ.i}$. В этом случае должны соблюдаться условия назначения погрешности:

$$K_{ВВ.i} \Delta_{M.lim} \leq \Delta_p; K_{ВВ.i} \delta_{M.lim} \leq \delta_p. \quad (24)$$

На 5-м этапе выбираются методы контроля вредных (опасных) веществ для дальнейшего их анализа. Этот выбор производится путем сравне-

ния расчетных суммарных погрешностей по каждому анализируемому методу с предельно допустимой и регламентированной погрешностью с соблюдением условия (3):

$$\Delta_\Sigma \leq K_{ВВ.i} \Delta_{M.lim} \leq \Delta_p; \delta_\Sigma \leq K_{ВВ.i} \delta_{M.lim} \leq \delta_p. \quad (25)$$

При этом принимаются к учету и другие метрологические характеристики методов, лимитирующие условия измерения.

Если требования по точности контроля (измерения) лимитируют предельно допустимую погрешность, например, необходимость измерения дозрывных концентраций смесей или до предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ, то необходимо анализировать всю цепочку измерения (этапы, элементы), по которым можно снизить составляющие суммарной погрешности за счет наиболее рациональных решений.

Оптимизация структур систем измерения на стадии метрологического обеспечения контроля заданных параметров производится по изложенной выше схеме выбора методов контроля с расчетом составляющих по отдельным компонентам суммарной погрешности.

Выводы

1. До настоящего времени отсутствуют методология и методики оптимизированного выбора средств контроля вообще и для объектов повышенной опасности, в частности, что не способствует снижению аварийности на этих объектах. Проводимые авторами научные исследования сопровождаются результативностью, направленной на восполнение этого пробела.

2. Разработанная методология оптимизированного выбора средств контроля взрывоопасных объектов и объектов, содержащих вредные вещества различных классов опасности, является основой создания нормативно-руководящих документов.

Перспективой дальнейших исследований является разработка проектов методик оптимизации эргатических систем и оптимизированного выбора средств контроля для объектов повышенной опасности.

Список литературы

1. **Забезинский А. Д.** Методика ориентировочного выбора средств контроля параметров. — Л.: изд-во ЛГУ, 1991. — 48 с.
2. **Карпенко В. А.** Новый подход и методика технико-экономического обоснованного выбора средств контроля // Вестник СевГТУ. Сер. Экономика и финансы: сб. науч. тр. — Севастополь, 2003. — С. 3—7.
3. **Севриков И. В., Клемяшова А. В., Севриков А. И.** Ориентировочный выбор средств контроля объектов повышенной опасности по свойству метрологического обеспечения // Сб. науч. тр. СНУЯтаП. — Севастополь, 2009. — 1 (29). — С. 74—78.
4. **ГОСТ 12.1.016—79 ССБТ.** Воздух рабочей зоны. Требования к методикам измерения концентраций вредных веществ.

УДК 628.16

Н. Н. Красногорская, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой,
А. И. Зельдова, канд. техн. наук, доц., **К. С. Глебова**, соиск.,
Уфимский государственный авиационный технический университет
E-mail: zeldova@mail.ru

Современные "зеленые" решения экологических проблем гальванического производства

Обоснована необходимость использования современных "зеленых" методов повышения экологической безопасности гальванического производства. Описаны приоритетные направления решения проблемы очистки металлосодержащих сточных вод гальванического производства.

Ключевые слова: "зеленые" технологии, гальваническое производство, экологическая безопасность, сточные воды, тяжелые металлы, реагентная очистка, флокулянты

Krasnogorskaya N. N., Zeldova A. I., Glebova K. S. The Modern "Green" Solutions to the Environmental Problem of the Electroplating Production

The necessity of using modern "green" methods to improve environmental safety of the electroplating production was substantiated. The priorities areas of solution to the problem of metal containing wastewater treatment were described.

Keywords: "green" technology, electroplating production, environmental safety, wastewater, heavy metal, reagent treatment, flocculants

В России экологическая политика значительно отстает от развитых и некоторых развивающихся стран. Большинство промышленных предприятий экономически не заинтересовано в осуществлении мероприятий по рациональному природопользованию. На действующих предприятиях предполагается использование тактических методов защиты окружающей среды, которые включают комплекс мероприятий по ограничению выбросов и сбросов с последующей утилизацией или захоронением отходов. Данный подход — "end of pipe" ("на конце трубы") в развитых странах считается устаревшим и неверным.

Увеличение потребления в условиях деградации и истощения природных ресурсов ведет к повышению издержек на охрану окружающей среды и цен на сырье, тормозит развитие экономики,

торговой и инвестиционной деятельности. Основным направлением рационального природопользования является внедрение природоохранных и ресурсосберегающих технологий.

Развитые страны переориентируют свое развитие на реализацию стратегии экологически ориентированного роста, одной из главных составляющих которой являются "зеленые" технологии. "Зеленые" технологии охватывают все сферы экономики — энергетику, промышленность, транспорт, строительство, сельское хозяйство и в настоящее время они внедряются во всю цепочку деятельности промышленных предприятий, включая, помимо производства, потребление, менеджмент и методы организации производства [1].

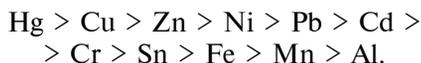
Внедрение "зеленых" — экологически чистых технологий в России позволит снизить потери сырья и энергии, уменьшить образование отходов или полностью их переработать с получением товарной продукции. Внедрение природоохранных и ресурсосберегающих технологий особенно актуально для гальванических производств предприятий машиностроительного комплекса, что связано с продолжающимся загрязнением окружающей среды ионами тяжелых металлов, которое приводит к деградации водных объектов.

Загрязнение природной среды ионами тяжелых металлов представляет большую опасность для биосферы. Помимо непосредственного токсического действия на живые и растительные организмы тяжелые металлы имеют тенденцию к накоплению в пищевых цепях, что усиливает их опасность для человека. Попадая в водоемы, они длительное время находятся в наиболее опасной — ионной форме и даже переходя в связанное состояние (коллоидную форму, донные осадки или другие малорастворимые соединения) продолжают представлять потенциальную угрозу.

Для каждого тяжелого металла существует свой механизм токсического действия, обусловленный конкуренцией между необходимыми и токсичными металлами за места связывания в белковых молекулах. Тяжелые металлы по чувствительности к



ним животных и человека располагаются в следующем порядке:



По токсикологическим параметрам (ЛК_{50}) и значениям ПДК для различных видов водопользования ионы тяжелых металлов относятся ко второй группе токсичности, поэтому металлосодержащие сточные воды гальванических производств представляют существенную экологическую опасность для водных объектов.

Помимо загрязнения природных экосистем тяжелыми металлами гальваника является одним из наиболее водоемких производств, что на фоне постоянного роста цен на энергоресурсы обуславливает необходимость сокращения водопотребления и оптимизации расходов свежей воды в гальваническом производстве.

Решение экологических проблем гальванических производств за счет реализации "зеленых" технологий позволит не только решить проблемы экономии водных ресурсов и улучшить среду обитания человека, но и открывает значительные возможности для экономического развития и повышения конкурентоспособности промышленных предприятий.



Рис. 1. Приоритетные "зеленые" направления повышения экологической безопасности гальванических производств

Перспективным направлением является внедрение на предприятиях системы экологического менеджмента, которая позволит управлять процессом планирования и достижения целей и задач в области экологической безопасности, в частности безопасности водопользования, что весьма актуально для машиностроительных предприятий.

Система экологического менеджмента предприятия, соответствующая требованиям международных стандартов серии ISO 14000, позволит обеспечить эффективное управление экологической безопасностью в решении следующих основных задач — на ближайшие годы — создание малоотходного гальванического производства, а на перспективу — переход на безводные технологические процессы нанесения металлических покрытий.

Приоритетные "зеленые" направления повышения экологической безопасности гальванических производств приведены на рис. 1.

Как видно из рис. 1, в качестве приоритетных направлений повышения экологической безопасности гальванических производств можно выделить как способы совершенствования технологий, используемых в самом гальваническом производстве, так и совершенствование методов очистки гальваностокков и модернизации очистных сооружений.

Совершенствование гальванического производства

Снижение водопотребления в гальванических цехах можно обеспечить мероприятиями, осуществление которых не требует дополнительных капитальных затрат, но которые значительно рационализируют существующие в цехе системы промывки и сокращают вынос раствора из технологических ванн. Сокращение выноса раствора из технологических ванн осуществляется путем выбора оптимальных конструкций подвесок, барабанов и деталей, выдерживания деталей над поверхностью ванны максимально возможное время, а также применения обдува, встряхивания. Так, например, при увеличении времени выдержки деталей над ваннами с 4 до 16 с вынос раствора сокращается в 3 раза.

Промывка изделий после гальванических ванн осуществляется погружным и струйным способами. При этом для промывки деталей простой конфигурации струйные промывки являются более экономичными. Однако погружной способ промывки, который может осуществляться в проточных и непроточных условиях, является наиболее распространенным.

При промывке в проточной воде применяют три основные схемы — одноступенчатая промывка в одной ванне, многоступенчатая проточная промывка в нескольких последовательно устанавливаемых ваннах промывки, оборудованных само-

стоятельной системой подачи и слива воды и многоступенчатая (многоступенчатая) противоточная промывка, при которой направление потока воды противоположно направлению движения деталей. Многоступенчатая противоточная промывка обеспечивает в несколько раз меньший расход воды, но большие концентрации загрязняющих веществ в сточных водах. Для решения этой проблемы площадь, занимаемая гальваническими линиями и цехом в целом, при проектировании новых или реконструкции существующих цехов гальванических покрытий может перекрываться для площади, требуемой для станции очистки сточных вод, так как для очистки меньшего объема сточных вод требуется оборудование с меньшими габаритами.

Периодически непроточный режим является одним из способов организации нормированного водопотребления взамен установки расходомеров, автоматизации регулирования расхода воды в зависимости от загрузки линии, формирования заинтересованности работников цеха в сокращении водопотребления. Расход воды на промывку в данном случае определяется частотой смены воды в промывных ваннах и объемом этих ванн. Перевод проточных ванн в периодически непроточный режим промывки позволяет сократить расход воды на 30...50 %.

При установке пяти ванн улавливания после хромирования и четырех ванн улавливания после никелирования обеспечивается полный возврат промывной воды в ванну нанесения покрытий. Практически через 50 рабочих смен (1,5 месяца работы) промывная вода из первой ванны улавливания сливается в сборник для последующей корректировки уровня электролита в технологической ванне, из второй ванны улавливания вода переливается в первую ванну, из третьей — во вторую, в последнюю ванну улавливания наливают дистиллированную воду или конденсат.

В зависимости от производительности ванн и температуры электролитов с помощью подпитки технологических ванн водой из ванн улавливания можно организовать бессточные операции никелирования и хромирования. Количество ванн улавливания определяется двумя ограничениями — концентрация хрома и никеля в последней ванне улавливания не должна превышать предельно допустимую концентрацию отмываемого компонента, а расход воды на промывку не должен превышать величины потерь воды на испарение и унос в вентиляцию [1].

Разработка и широкое внедрение систем использования воды в гальваническом производстве в замкнутом цикле позволит одновременно вывести из него ценные компоненты в виде товарных продуктов и вторичного сырья и создать локаль-

ные системы переработки разделенных потоков сточных вод.

Однако создание замкнутых систем водного хозяйства, которое является основным стратегическим направлением в гальваническом производстве, невозможно без переоборудования, совершенствования существующих очистных сооружений и внедрения новых прогрессивных технологий и оборудования.

Совершенствование методов очистки сточных вод гальванического производства и модернизация очистных сооружений

Основным методом удаления ионов тяжелых металлов на большинстве предприятий машиностроительного комплекса является реагентный метод, основанный на нейтрализации и осаждении металлов в форме гидроксидов и/или основных солей. Однако данный метод не позволяет обеспечить требуемое качество воды для сброса не только в водные объекты, но и в канализационную сеть городов.

Основной причиной низкой эффективности реагентного метода очистки металлсодержащих сточных вод является несоблюдение оптимальных значений pH осаждения гидроксидов тяжелых металлов. Диаграмма значений pH, обеспечивающих растворимость гидроксидов, близкую к минимальной, представлена на рис. 2. Как видно из рисунка, гидроксиды тяжелых металлов характеризуются различным диапазоном pH, обеспечивающим минимальную растворимость и, следовательно, не могут быть эффективно осаждены при обычно применяемых на практике значениях pH = 6,5...7,5. Концен-

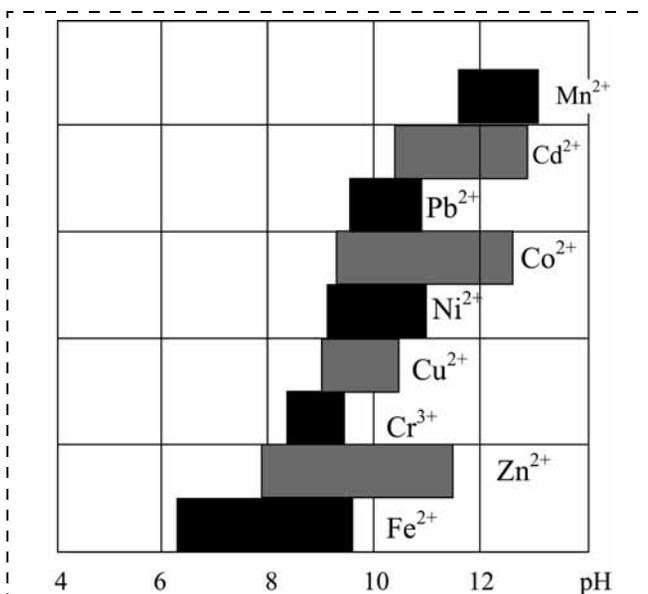


Рис. 2. Диаграмма значений pH, обеспечивающих растворимость гидроксидов тяжелых металлов, близкую к минимальной

трация загрязняющих веществ в сточных водах может быть снижена за счет корректировки рН до значений близких 9,0. Так, увеличение рН осаждения с 7,5 до 9,0 снизит остаточную концентрацию хрома в 6 раз, цинка — в 70 раз, а меди — в 80 раз.

Другой причиной недостаточной эффективности реагентной очистки является проскок гидроксидов и/или основных солей металлов в виде взвешенных веществ с очищенными сточными водами на стадиях отстаивания и фильтрации, что фактически увеличивает содержание тяжелых металлов в стоках. Размер частиц взвешенных веществ в сточных водах после реагентной обработки лежит в диапазоне 0,5...100 мкм, при этом значительная часть взвешенных частиц имеет размер менее 10 мкм, скорость осаждения которых меньше 0,1 мм/с. Одним из эффективных способов интенсификации очистки сточных вод от коллоидных и высокодисперсных примесей является обработка сточной воды флокулянтами, применение которых позволяет обеспечить эффективное (97...98 %) удаление взвешенных веществ [2].

Флокулянты представляют собой природные и синтетические высокомолекулярные соединения с молекулярной массой от десятков тысяч до нескольких миллионов и длиной цепочки из повторяющихся звеньев в десятки микрометров. Процесс флокуляции следует рассматривать как образование хлопьев при взаимодействии компонентов двух разнородных систем — макромолекул растворимых полимеров и частиц коллоидных растворов и суспензий с четкой поверхностью раздела фаз.

Определяющими критериями оптимизации флокуляционной очистки сточных вод являются вид применяемого реагента, его доза и эффективность. Этапы и порядок оптимизации флокуляционной очистки представлены на рис. 3.

Как следует из рис. 3, доза флокулянта зависит от вида реагента и состава сточной воды, в том числе от наличия растворенных примесей. Эффективность флокуляции зависит от дозы выбранного флокулянта и условий проведения процесса, которые определяются характеристиками флокулянта и методом осветления сточной воды. Флокулянты используются в небольших дозах, что способствует образованию небольших количеств осадка с высокой обезвоживающей способностью. Увеличение заряда (количество ионогенных групп в макромолекуле флокулянта), при сравнительно низкой молекулярной массе также способствует увеличению эффективности очистки и снижению дозы флокулянта.

Доза флокулянта обычно определяется методом пробного коагулирования. Одним из эффективных методов определения оптимальной дозы является электрокинетический метод, который может

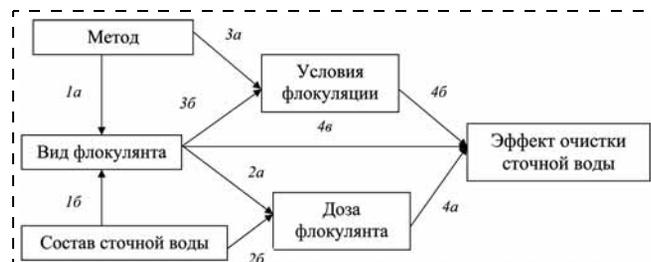


Рис. 3. Основные этапы и порядок оптимизации флокуляционного процесса

использоваться также для оперативного контроля и регулирования дозы флокулянта в промышленных условиях. Это позволит сократить расход флокулянта, уменьшить эксплуатационные затраты, которые определяются главным образом затратами на флокулянт, повысить эффект очистки, поскольку при дозах флокулянта выше или ниже оптимальных эффективность очистки понижается.

Эффективность флокуляционной очистки сточной воды выбранным флокулянтом при найденной оптимальной дозе будет зависеть только от технологических параметров смешения, хлопьеобразования и осветления сточной воды. Условия смешения определяют равномерность распределения флокулянта и эффективность адсорбции макромолекул на частицах дисперсных загрязнений, условия хлопьеобразования определяют размер и плотность образующихся хлопьев, а, следовательно, и эффективность их последующего отделения.

Оптимальные условия для смешения практически не зависят от типа флокулянта и достигаются при величине среднего градиента скорости перемешивания в пределах от 300 до 500 с⁻¹ и продолжительности 30...60 с. Условия хлопьеобразования зависят от метода осветления и молекулярной массы флокулянта. Интенсивность перемешивания находится в пределах от 20 до 100 с⁻¹, продолжительность перемешивания — от 5 до 30 мин. Гидравлическая крупность сфлокулированных загрязнений, поступающих на отстаивание, должна быть не менее 0,2 мм/с [3].

Согласно многократно проведенным модельным и производственным испытаниям за счет применения флокулянтов наблюдается уменьшение остаточных концентраций тяжелых металлов в 2—10 раз. Эффективное осаждение укрупненных частиц невозможно без переоборудования и совершенствования существующих очистных сооружений для отстаивания и фильтрации.

Действующие очистные сооружения на большинстве машиностроительных предприятий Российской Федерации и Республики Башкортостан введены в эксплуатацию более 40 лет назад, что

значительно сказывается на эффективности очистки сточных вод гальванического производства после реагентной обработки.

Отстаивание является основным методом механической очистки сточных вод и используется для удаления оседающих или всплывающих грубодисперсных веществ. Продолжительное время отстаивания и проскок взвешенных частиц размером менее 10 мкм из отстойника затрудняют работу фильтров и не позволяют обеспечить требуемого содержания взвешенных веществ в очищенных сточных водах.

Одним из направлений модернизации механических очистных сооружений при невысоких капитальных затратах является реконструкция полых промышленных отстойников в тонкослойные (рис. 4), эффективность которых по сравнению с обычными возрастает с 40...60 % до 85...99 %.

Для интенсификации процессов осаждения взвешенных веществ в полые промышленные отстойники встраиваются тонкослойные модули, использование которых обеспечивает:

- повышение производительности отстойников на 50 %;
- увеличение эффективности осветления воды в отстойниках до 99 %;
- значительное сокращение капитальных затрат на модернизацию технологического процесса очистки сточных вод;
- простоту в эксплуатации.

Существуют различные конструкции тонкослойных модулей отечественных и зарубежных производителей. Тонкослойные ячеистые модули TUBEdek (см. рис. 4), запатентованные в Европе и России, имеют ряд преимуществ перед обычными трубчатymi и полочными тонкослойными модулями.

Возможность бескаркасной установки модулей TUBEdek обеспечивает снижение нагрузки на конструкцию отстойника и существенную экономию материала и средств при больших объемах. Отсутствие зазора между смежными рядами модулей обес-

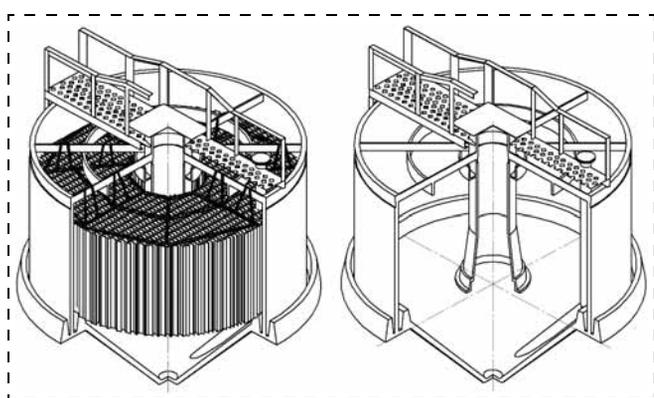


Рис. 4. Реконструкция полых промышленных отстойников в тонкослойные

печивает равномерность распределения гидравлической нагрузки и высокое качество осветления воды.

Тонкослойные модули ячеистой конструкции изготавливаются из профилей, которые соединяются при помощи системы шпунтового соединения и тепловой сварки и в собранном виде образуют осаждающие трубы V-образной формы с равными гидравлическими радиусами. Использование шпунтового соединения профилей обеспечивает высокую механическую прочность и позволяет осуществлять вырезы и подгонку модулей под форму отстойников различного типа (в том числе радиальных). Профиль V-образной формы создает оптимальные условия для сползания осадка.

Стандартным материалом для производства ячеистых тонкослойных модулей является поливинилхлорид без пластификаторов. Высокая жесткость и стойкость к ультрафиолетовому излучению позволяет использовать этот материал для основных отстойников и при очистке ливневых стоков. Данный материал устойчив к большинству растворимых веществ, встречающихся в городских и промышленных сточных водах, гниению, воздействию бактерий и других микроорганизмов. Модули также изготавливаются из армированного тальком полипропилена.

Другим этапом модернизации сооружений очистки гальваносточков является замена хлопчатобумажной фильтровальной ткани вакуум-фильтров для обезвоживания осадков на синтетические фильтровальные ткани, имеющие больший срок службы и обладающие более высокой механической прочностью, химической и микробиологической, коррозионной стойкостью. Замена фильтровальной ткани позволит получать фильтрат с возможно низкой концентрацией взвешенных веществ.

Таким образом, комплексные решения по сокращению водопотребления в гальваническом производстве и минимальной реконструкции действующих очистных сооружений на станциях нейтрализации позволят избежать значительных капитальных и эксплуатационных затрат, адаптировать технологии гальванического производства к наилучшим "зеленым" и повысить уровень экологической безопасности предприятий машиностроительного комплекса.

Список литературы

1. **Экологичность** гальванических производств // <http://www.galvanica.su/1-6/gal/95/index.shtml>
2. **Зельдова А. И.** Разработка ресурсосберегающей технологии очистки и утилизации металлосодержащих сточных вод: Дисс... канд. техн. наук. Уфа: УГАТУ, 2008.
3. **Гетманцев С. В., Нечаев И. А., Гандурина Л. В.** Очистка промышленных сточных вод коагулянтами и флокулянтами. — М.: Изд-во АСВ, 2008.



УДК 504.064.36

А. М. Сафаров¹, канд. техн. наук, ст. препод., **А. Р. Мухаматдинова**², гл. спец.,
А. Т. Магасумова², канд. хим. наук, нач. отдела, **Р. М. Хатмуллина**², канд. хим. наук,
нач. отдела, **В. И. Сафарова**², д-р хим. наук, проф., начальник

¹ Уфимский государственный нефтяной технический университет

² Управление государственного аналитического контроля, г. Уфа

E-mail: ugak2004@mail.ru

Изучение загрязненности подземных вод, испытывающих техногенное влияние нефтехимических предприятий

Приведены данные исследования качества подземных вод в зоне деятельности нефтехимических предприятий, свидетельствующие о необходимости организации в районах развития нефтехимии системного мониторинга качества подземных вод, результаты которого могут быть использованы при планировании экологических мероприятий по санированию загрязненных территорий.

Ключевые слова: нефтепродукты, подземные воды, бензол, фенол, алкилбензолы

Safarov A. M., Muhamatdinova A. R., Magasumova A. T., Khatmullina R. M., Safarova V. I. The Study of Pollution of Groundwater Experiencing Anthropogenic Impact Petrochemical Enterprises

Conducted a survey of underground the quality water in the zone of petrochemical activities enterprises. The findings suggest the need of the organization in the areas of groundwater quality monitoring the system petrol chemistry development, the results of which can be used in the planning of environmental activities to clean the contaminated areas.

Keywords: oil-products, ground waters, benzene, phenol, alkybenzene

Введение

Загрязнение природных вод нефтью и продуктами ее переработки является одной из самых серьезных экологических проблем во всем мире [1]. Существенное негативное воздействие на качество вод и грунта оказывают объекты нефтехимической отрасли, в процессе эксплуатации которых образуются производственные и ливневые сточные воды. Систематические утечки и аварийные разливы нефтепродуктов на территориях нефтеперерабатывающих заводов и нефтебаз способствуют загрязнению почв и образованию техногенных линз

нефтепродуктов в грунтах зоны аэрации и на поверхности грунтовых вод [2–5].

Так, например, многолетние скопления нефтепродуктов, выявленные на промышленных площадках предприятий нефтяной отрасли, расположенных на левобережной части реки Белой, являются основным источником загрязнения подземных вод и, как следствие, приводят к загрязнению реки [6].

Целью данной работы явилось изучение загрязненности подземных вод, испытывающих техногенное влияние нефтехимических предприятий (НХП), и оценка качества подземных вод, поступающих в реку Белую.

Объекты и методы исследования

Программа исследований предусматривала отбор и анализ проб сточных и подземных вод, установление в них состава неорганических и органических ингредиентов, выделение соединений,

Таблица 1

Обоснование выбора наблюдательных скважин для исследования влияния нефтехимических предприятий на качество подземных вод

Наблюдательная скважина	Цель исследования
Скв. 1–4, расположенные на границе промплощадки	Получение информации о содержании нефтепродуктов и других загрязняющих веществ в подземных водах в зоне влияния промплощадки НХП
Скв. 5, расположенная после очистных сооружений	Установление состава загрязняющих веществ в подземных водах, испытывающих влияние очистных сооружений НХП
Скв. 6, восточнее от скважины 5	Оценка суммарного влияния промплощадки НХП и БОС на качество подземных вод.
Скв. 7–10, расположенные вдоль участка разгрузки подземных вод в реку Белую	Оценка влияния НХП, расположенных на обследуемой территории, на состав подземных вод, питающих реку Белую

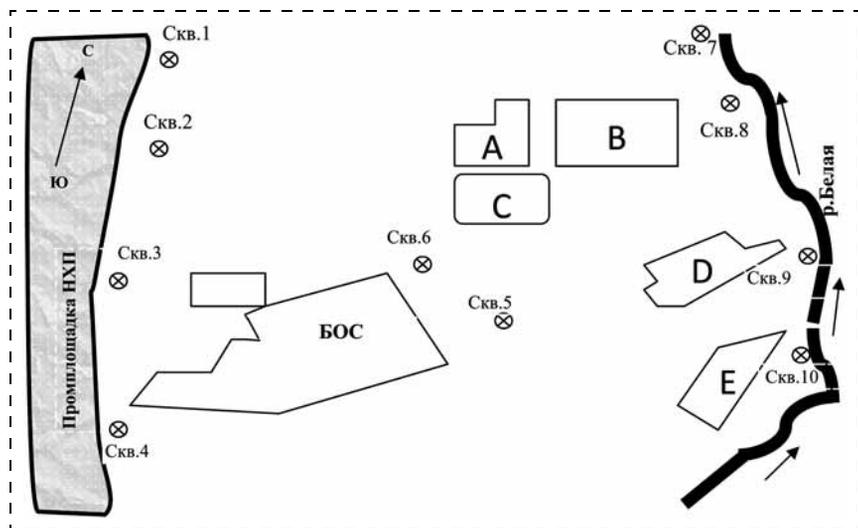


Схема расположения наблюдательных скважин нефтехимических предприятий, расположенных на левобережной территории реки Белой (А, В, С, D, E — промышленные предприятия; БОС — биологические очистные сооружения) [6]

специфичных для нефтехимического производства, и оценка их влияния на качество грунтовых вод.

Исследования, проведенные в 2000—2011 гг., свидетельствуют об устойчивом движении подземных вод от промплощадки предприятия к реке Белой [6]. В связи с этим объектами исследования являлись пробы подземных вод, отобранные из наблюдательных скважин, размещенных между промышленной

площадкой НХП и рекой Белой (см. рисунок).

Для оценки влияния исследуемых объектов на качество подземных вод проведено предварительное ранжирование наблюдательных скважин по створам направления движения подземных вод и в зависимости от их расположения в непосредственной близости к источникам загрязнения и вдоль участка разгрузки подземных вод в реку Белую (табл. 1).

С целью установления идентичности состава загрязняющих веществ в сточных и подземных водах также были исследованы сточные воды нефтехимического предприятия. Из перечня проанализированных ингредиентов были выбраны приоритетные, найденные в пробах в значимых концентрациях. В качестве критерия

оценки загрязненности воды представлены нормативы качества питьевой воды нецентрализованного водоснабжения, поскольку подземные воды являются важным резервуаром пресной воды, пригодной для питья (табл. 2). Кроме того, для изучения динамики загрязняющих веществ в подземных водах рассмотрено изменение концентраций некоторых ингредиентов, специфичных для нефтехимического производства (нефтепродуктов, бензола, фенола, сульфидов).

Таблица 2

Результаты (показатели качества воды, мг/дм³) анализа проб сточных вод НХП и проб подземных вод, отобранных из наблюдательных скважин

Загрязняющие вещества	Сточные воды НХП	В зоне влияния промплощадки				В зоне влияния БОС		Суммарное влияние	Нормативы качества воды*, мг/дм ³
		Скв. 1	Скв. 2	Скв. 3	Скв. 4	Скв. 5	Скв. 6		
ХПКбихр.	84,2...475	69,5	38	230	30,5	28	48,4	Не норм.	
Нефтепродукты	3,5...144	6,8	3,0	1,92	0,13	<0,05	0,12	0,1	
Фенолы летучие с паром	0,003...5,03	0,031	0,008	0,033	0,001	0,002	<0,001	0,25	
Хлориды	6,0...571,2	41	67	76	46	90	104	350	
Сульфаты	71...784	<10	<10	<10	30	364	322	500	
Ион аммония	4,4...21,7	<0,1	0,9	0,2	0,4	15,4	81	1,5	
Нитраты	2,55...32,0	0,52	1,0	0,59	2,1	17,9	71	45	
АПАВ	0,04...1,60	1,01	0,30	10,0	0,25	0,27	0,42	0,5	
Сульфиды	0,002...0,346	0,043	0,007	0,005	0,27	<0,002	0,261	0,03	
Железо общ.	0,7...6,31	1,4	0,34	0,17	0,66	0,02	0,03	0,3	
Бензол	0,001...6,9	14,4	7,3	3,217	0,004	<0,0004	0,0014	0,01	
Толуол	0,0057	0,974	0,0057	0,0056	0,0006	<0,0004	<0,0004	0,5	

* СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические Сантребования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.



дов и иона аммония), за последние десять лет по скважинам, расположенным на границе промплощадки, в зоне влияния очистных сооружений и на участке разгрузки подземных вод в реке Белой (см. далее табл. 3–5).

Отбор проб, анализ сточных и подземных вод проводился в соответствии с нормативными документами, допущенными для целей экоаналитического контроля, обеспечивающими его представительность, правильность и сохранность определяемых ингредиентов с использованием современных высокоинформативных методов — газожидкостной хроматографии (ГЖХ), хромато-масс-спектрометрии (ХМС), высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС), ИК-спектрометрии, а также титриметрических и фотометрических методов анализа [7–17]. Исследования проводились на современных метрологически поверенных приборах и аттестованном оборудовании отечественного и зарубежного производства.

Обсуждение результатов

В качестве основных источников загрязнения были рассмотрены территория промплощадки нефтехимического предприятия и БОС. В табл. 2 представлены результаты анализа проб воды из наблюдательных скважин, расположенных ниже промплощадки НХП, а также в скважинах, расположенных в зоне

влияния БОС (см. табл. 1). Там же приведены сведения о составе сточных вод, направляемых на очистку.

Как видно из табл. 2, содержание нефтепродуктов в пробах воды, отобранных из скважин 1–4, расположенных на границе промплощадки НХП, неравномерное — от 0,13 до 6,8 мг/дм³. Самый высокий уровень загрязнения наблюдается в скважинах 1 (68 ПДК) и 2 (30 ПДК).

В этих же пробах воды обнаружен бензол в концентрациях, превышающих ПДК в 322–1140 раз. Тoluол в этих скважинах найден в незначительных концентрациях: превышение ПДК в 1,9 раза было выявлено только в воде скважины 1. Присутствие в подземных водах бензола и толуола в первую очередь может быть связано с влиянием промплощадки НХП на подземные воды.

Роль очистных сооружений в загрязнении подземных вод оценивали по результатам исследования воды из скважины 5, расположенной в зоне влияния БОС. Следует отметить, что очистные сооружения принимают на очистку не только промышленные сточные воды предприятия, а также и хозяйственно-бытовые сточные воды города. Ранее проведенными исследованиями [6] было установлено, что при общем движении подземных вод к реке Белой, по направлению, соединяющему скважины 4, 5, 10 и пересекающему площадку очистных сооружений предприятия (см. рисунок),

Таблица 3

Результаты (показатели качества воды, мг/дм³) анализа проб подземных вод, отобранных из наблюдательных скважин НХП, расположенных вдоль участка разгрузки подземных вод в реке Белой

Загрязняющие вещества	Состав подземных вод, питающих реку Белую, в зоне влияния НХП				Нормативы качества воды*, мг/дм
	Скв. 7	Скв. 8	Скв. 9	Скв. 10	
ХПКбихр.	23,7	64,9	117	21	Не норм.
Нефтепродукты	1,1	0,65	0,14	<0,05	0,1
Фенолы летучие с паром	0,001	0,001	0,001	<0,001	0,25
Хлориды	1347	246	118	40	350
Сульфаты	75,8	176	25	57	500
Ион аммония	14,6	2,1	1,2	0,4	1,5
Нитраты	0,44	0,52	0,36	6,9	45
АПAB	1,01	1,8	1,0	0,04	0,5
Сульфиды	0,310	0,207	0,052	0,004	0,03
Железо общ.	0,03	0,02	0,02	0,02	0,3
Бензол	0,005	<0,0004	0,0550	<0,0004	0,01
Толуол	<0,0004	<0,0004	0,0018	<0,0004	0,5

* СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.

наблюдалось более высокое положение гидравлической поверхности подземных вод, предположительно сформированное за счет утечек сточных вод из прудов-отстойников очистных сооружений.

Появление в скважине 5 (см. табл. 2) большого количества соединений азотной группы (нитратов и иона аммония), характерных для хозяйственно-бытовых сточных вод, а также сульфатов, хлоридов по сравнению со скважинами 1—4, расположенными на границе промплощадки, может быть объяснено наличием утечек сточных вод с прудов-отстойников БОС, вызванных нарушением их герметичности. Концентрация нефтепродуктов в скважине 5 меньше ПДК, что может быть обусловлено эффективностью очистки сточных вод от углеводородов. В скважине 6 содержание нефтепродуктов возрастает до 0,12 мг/дм³, содержание бензола (0,0014 мг/дм³) меньше значений ПДК. В воде скважины 6 установлено увеличение содержания иона аммония до 81 мг/дм³, нитратов до 71 мг/дм³, сульфидов до 0,261 мг/дм³ и других компонентов, характерных для нефтехимических производств. Следовательно, с учетом того, что общее направление движения подземных вод происходит от промплощадки предприятия к реке Белой, обнаруженные загрязняющие вещества от всех источников загрязнения распространяются с подземными водами к реке Белой. Кроме того, наличие утечек сточных вод с очистных сооружений способствует увеличению гидравлического потока и, соответственно, ускорению движения загрязненных подземных вод к реке.

В пробах подземных вод, отобранных из скважин, расположенных в непосредственной близости к реке Белой (табл. 3), установлено достаточно высокое (11 ПДК) содержание нефтепродуктов (скважина 7), иона аммония до ~9,7 ПДК (скважина 7), бензола до 5,5 ПДК (скважина 9) и АПАВ в концентрациях, превышающих ПДК в 2—3,6 раза (скважины 7—9).

В подземных водах скважин, расположенных в непосредственной близости к промплощадке НХП (скважины 1—4), и скважин, расположенных вдоль берега реки Белой (скважины 7—10), установлено присутствие сульфидов. Следует отметить более высокий уровень содержания сульфидов в скважинах у реки Белой по сравнению с подземными водами в непосредственной близости от основного источника загрязнения — промплощадки НХП (см. табл. 2 и 3). Это позволяет предположить наличие дополнительных, имеющих техногенную

Таблица 4

Динамика концентраций приоритетных для НХП загрязняющих веществ в подземных водах за 2000—2001 и 2009, 2011 гг.

Определяемый ингредиент	Содержание, мг/дм ³			
	2000 г.	2001 г.	2009 г.	2011 г.
Влияние промплощадки НХП				
Скважина 2				
Нефтепродукты	1,0	3,7	Нет данных	3,0
Бензол	<0,0004	<0,0004	<0,0004	7,3
Скважина 3				
Нефтепродукты	0,34	0,83	0,06	1,92
Бензол	<0,0004	<0,0004	0,1627	3,217
Скважина 4				
Нефтепродукты	0,06	0,25	0,08	0,13
Бензол	<0,0004	<0,0004	0,0008	0,0036
Влияние БОС				
Скважина 5				
Нефтепродукты	0,17	<0,05	0,07	<0,05
Бензол	<0,0004	<0,0004	0,0004	<0,0004
Фенолы летучие с паром	0,008	<0,001	<0,001	0,002
Суммарное влияние предприятий				
Скважина 6				
Нефтепродукты	0,08	0,23	0,10	0,12
Сульфиды	0,22	0,13	0,26	0,55

природу, источников образования сульфидов в подземных водах.

В табл. 4 представлены данные по содержанию приоритетных для НХП загрязняющих веществ в подземных водах за 2000—2001 и 2009, 2011 гг.

Тенденция к увеличению содержания приоритетных для НХП загрязняющих веществ — нефтепродуктов и бензола — в воде скважин 2—4, расположенных на границе промплощадки НХП, свидетельствует о том, что промплощадка предприятия остается потенциальным источником загрязнения подземных вод.

В воде скважины 5 содержание бензола в 2000, 2001 и 2009 гг. сохранялось примерно на одном уровне (см. табл. 4). Концентрация фенола в период наблюдений варьировала от отсутствия до 0,008 мг/дм³. Максимальные значения наблюдались в 2000 и 2011 гг.



Таблица 5

Динамика концентраций загрязняющих веществ в подземных водах (скважины 8–10) за 2000–2001 и 2011 гг.

Определяемый ингредиент	Содержание, мг/дм ³		
	2000 г.	2001 г.	2011 г.
Скважина 8			
Нефтепродукты	0,05	0,09	0,65
Бензол	<0,0004	<0,0004	0,0004
Ион аммония	0,58	0,6	5,0
Скважина 9			
Нефтепродукты	0,14	0,37	0,14
Бензол	Нет данных	Нет данных	0,0550
Ион аммония	0,89	0,8	1,2
Скважина 10			
Нефтепродукты	0,05	<0,05	<0,05
Бензол	Нет данных	Нет данных	<0,0004
Ион аммония	0,48	0,34	0,35

В воде скважины 6, которая характеризует суммарный вклад промплощадки НХП и очистных сооружений, постоянно фиксировались сульфиды в концентрациях, превышающих ПДК. Содержание нефтепродуктов в воде этой скважины изменяется от 0,08 до 0,23 мг/дм³.

В воде скважин 8–9, расположенных вдоль участка разгрузки реки Белой и испытывающих влияние всех предприятий, расположенных на левобережной территории реки Белой (табл. 5), по содержанию бензола, нефтепродуктов, иона аммония выявлена тенденция увеличения их концентраций к 2011 г.

Представленные данные свидетельствуют о возрастании влияния НХП и БОС, расположенных на обследованной территории, на состав подземных вод, питающих реку Белую.

Заключение

На основании проведенных исследований состава подземных вод на территории левобережья реки Белой в зоне влияния промышленных предприятий:

— дана оценка влияния потенциальных источников загрязнения обследуемой территории (промплощадки НХП, БОС) на качество подземных вод; показано загрязнение подземных вод растворенными нефтепродуктами, ароматическими соединениями (бензолом, толуолом), фенолами, сульфидами, хлоридами, сульфатами, а также биогенными соединениями (ионом аммония, нитра-

тами), АПАВ, которые являются характерными загрязняющими веществами как для промплощадки НХП, так и для БОС;

— установлено, что подземные сточные воды, формирующиеся в результате утечек с очистных сооружений, не только загрязняют, но и способствуют ускорению движения загрязняющих веществ от источников загрязнения при их направленном движении в сторону реки Белая.

Список литературы

1. Сафаров А. М. Оценка состояния окружающей природной среды и ее защита от загрязнения нефтью при аварийных ситуациях. Дис. ... канд. техн. наук. 03.00.16. Уфа: УГНТУ — 2007 г. 167 с.
2. Боровский Б. В., Боровский Л. В., Бухарин С. И. К проблемам локализации и ликвидации нефтяных загрязнений на объектах Минобороны РФ // Геоэкология. — 1997. — № 5. — С. 75–83.
3. Цагарели Д. В., Мишин Ю. Ф. Промышленная безопасность объектов нефтепродуктообеспечения // Экологический вестник России. — 1999. — № 6. — С. 36–41.
4. Гольдберг В. М., Ковалевский Ю. В. Особенности загрязнения нефтепродуктами территории бывшего мазутохранилища в г. Череповец // Геоэкология. — 1997. — № 5. — С. 84–90.
5. Козинев С. И., Ковалевский Ю. В., Арбузов А. Н. Воздействие объектов нефтепродуктообеспечения на геологическую среду // Геоэкология. — 1998. — № 1. — С. 54–74.
6. Влияние объектов нефтедобычи и нефтепереработки на качество природных вод / А. А. Фаухутдинов, В. И. Сафарова, В. Ф. Ткачев, А. Т. Магасумова, Г. Ф. Шайдулина, А. М. Сафаров, А. А. Колчина, Л. К. Шихова, Г. И. Теплова // Башкирский химический журнал. — 2008. — Т. 15. — № 1. — С. 87–93.
7. ГОСТ 51592—2000. Вода. Общие требования к отбору проб.
8. ПНД Ф 14.1:2. 1—95. КХА. Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов аммония в природных и очищенных сточных водах фотометрическим методом.
9. ПНД Ф 14.1:2.4.5—95. КХА. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в природных и сточных водах методом ИК-спектрометрии.
10. ПНД Ф 14.1:2.159—00. КХА. Методика выполнения измерений массовой концентрации сульфат ионов в природных и очищенных сточных водах фотометрическим методом.
11. ПНД Ф 14.1:2.4.111—97. КХА. Методика выполнения измерений массовой концентрации хлорид ионов в природных и сточных водах титриметрическим методом.
12. ПНД Ф 14.1:2.105—97. КХА. Методика выполнения измерений массовой концентрации фенолов в природных и очищенных сточных водах фотометрическим методом.
13. ПНД Ф 14.1:2. 214—06. КХА. Методика выполнения измерений массовой концентрации железа в природных и очищенных сточных водах фотометрическим методом.
14. ПНД Ф 14.1:2.4.4—95. КХА. Методика выполнения измерений массовой концентрации нитрат ионов в природных и сточных водах фотометрическим методом.
15. ПНД Ф 14.1:2. 109—97. КХА. Методика выполнения измерений массовой концентрации сульфид ионов в природных и очищенных сточных водах фотометрическим методом.
16. ПНД Ф 14.1:2.15—95. КХА. Методика выполнения измерений массовой концентрации АПАВ в природных и очищенных сточных водах фотометрическим методом.
17. ПНД Ф 14.1:2. 100—97. КХА. Методика выполнения измерений массовой концентрации химического потребления кислорода в природных и очищенных сточных водах титриметрическим методом.

Н. Н. Красногорская, д-р техн. наук, проф., **А. Н. Елизарьев**, канд. геогр. наук, доц.,
И. Ю. Кияшко, канд. геогр. наук, ст. препод., **И. В. Трусова**, магистрант,
Уфимский государственный авиационный технический университет,
E-mail: elizariev@ugatu.ac.ru

Мониторинг объектов антропогенной деятельности, оказывающих влияние на водные объекты

Приведены результаты сравнительного анализа различных биологических показателей мониторинга экологического состояния водных объектов, позволившего выбрать индекс сапробности в качестве наиболее применимого для оценки состояния водных объектов. Проведена оценка экологического состояния водотока путем отбора проб фитопланктона реки Шугуровки. Определена загрязненность различных участков водотока.

Ключевые слова: водные объекты, показатели качества, индекс сапробности, фитопланктон

Krasnogorskaya N. N., Elizariyev A. N., Kiyashko I. Yu., Trusova I. V. Monitoring of Anthropogenic Activity Objects which Affect on Water Objects

The comparative analysis of different biological indexes for ecological monitoring of water objects was conducted. As the most applicable for water objects state estimation the saprobity index was chosen. The sample taking of phytoplankton of Shugurovka river with the aim of ecological state estimation of water object was conducted. The filthiness of different river sections was estimated.

Keywords: water objects, quality indexes, saprobity index, phytoplankton

Введение

В пределах городских территорий объекты гидросферы подвергаются интенсивному техногенному воздействию. Данное воздействие является постоянным ввиду того, что в пределах городских агломераций расположены как объекты промышленности, гражданского, транспортного и других видов строительства, так и водные объекты, используемые населением для различных хозяйственных нужд [1, 2].

Для оценки техногенного воздействия на водные объекты в пределах городских территорий используются различные критерии: химический состав воды, засоренность речных русел, распаханность водосборных бассейнов и т. д. [3–6]. Тем не менее многообразие критериев, а также методов

оценки, используемых рядом авторов [5, 7, 8], не позволяют проводить сравнительный анализ и выявлять закономерности между характером загрязнения и его негативными последствиями для объектов-реципиентов. В этой связи различными исследователями [8–10] разрабатываются комплексные показатели, или индикаторы, которые позволяют агрегировать разнородную экологическую информацию. В настоящее время разработка и применение экологических индикаторов является весьма актуальным. Например, решением 6-го Мирового Водного Форума "Время для Решений" рекомендовано управление качеством воды с учетом различных индикаторов на основе агрегирования экологической информации [11].

Обзор методов агрегирования экологической информации и возможности формирования на их основе новых показателей качества окружающей среды

Как показывает ряд исследований [3–4, 12], антропогенное загрязнение влияет на все компоненты природных экосистем, в связи с чем интегрированную оценку такого влияния можно осуществить лишь на основе данных о реакции живых организмов на загрязнение. Следовательно, оценку влияния загрязнения на водные объекты целесообразно проводить не только с помощью физико-химических методов анализа качества воды, но и анализа состояния сообщества гидробионтов [12].

Методы физико-химического анализа обеспечивают качественное и количественное определение основных элементов загрязнения сточных вод. К их преимуществам относятся наличие организационной (сети химико-аналитических лабораторий) базы и устойчивейшей системы документации [2, 13], а к недостаткам — высокая трудоемкость, низкая оперативность [14]. Некоторые вещества начинают оказывать негативное влияние на живые организмы при концентрациях ниже уровня чувствительности методов физико-химического анализа, что также снижает область применения данных методов.

Применение методов биологического анализа позволяет оперативно оценивать качество вод и



наличие концентрации загрязнителей, не обнаруживаемых физико-химическими методами [1]. Методы биологического анализа обладают рядом недостатков, например, отсутствием нормативной базы, развитой сети наблюдения и различием в методах расчета, предлагаемых рядом авторов.

Индекс сапробности, рассчитываемый методом Пантле-Букка в модификации Сладечека [9], учитывает относительную частоту встречаемости (обилие) гидробионтов h и их индикаторную значимость s (сапробную валентность). Индекс сапробности (устойчивости к загрязнению органическими веществами) сообщества организмов рассчитывается по формуле [9]:

$$S = \frac{\sum sh}{\sum h}, \quad (1)$$

где s — индекс сапробности вида, определяемый по данным работы [8]; h — относительная частота встречаемости вида, определяемая в зависимости от доли рассматриваемого вида в общей численности гидробионтов в сообществе (табл. 1).

Классификация водных объектов в зависимости от значения индекса сапробности сообщества организмов приведена в табл. 2.

Помимо расчета индекса сапробности, широко используемого в мировой практике [3, 6, 9], существуют другие методы биоиндикации.

Family Biotic Index (FBI) [6] разработан для рек штата Висконсин (США) и входит в перечень стандартных индексов Американского агентства защиты окружающей среды.

Таблица 1

Определение относительной частоты встречаемости [9]

Встречаемость	Доля особей одного вида, % от общей численности сообщества	Значение относительной частоты встречаемости h
Очень редко	<3	1
Редко	3...4	2
Нередко	4...10	3
Часто	10...20	5
Очень часто	20...40	7
Массово	40...100	9

Таблица 2

Классификация водных объектов по сапробности

Наименование	Значение индекса сапробности S	Условное обозначение
Олигосапробная	0,5...1,5	о
Бета-мезосапробная	1,5...2,5	β
Альфа-мезосапробная	2,5...3,5	α
Полисапробная	3,5...4,5	ρ

Таблица 3

Значения индекса FBI и классификация водных объектов по качеству воды [6]

FBI	Качество воды	Степень органического загрязнения
<3,5	Прекрасное	Органическое загрязнение отсутствует
3,5...4,5	Очень хорошее	Слабое органическое загрязнение
4,5...5,5	Хорошее	Некоторое органическое загрязнение
5,5...6,5	Посредственное	Среднее органическое загрязнение
6,5...7,5	Ниже посредственного	Значительное органическое загрязнение
7,5...8,5	Плохое	Существенное органическое загрязнение
>8,5	Очень плохое	Сильное органическое загрязнение

Расчет значения индекса FBI осуществляется по формуле:

$$FBI = \frac{\sum(x_i t_i)}{n}, \quad (2)$$

где x_i — число особей одного вида; t_i — показатель устойчивости вида к загрязнению; n — общее число организмов в пробе.

Классификация качества водных объектов по значению индекса FBI приведена в табл. 3.

Недостатком данного метода является обязательное требование к количеству особей в рассматриваемых в пробе, которое должно быть не менее 100 экз.

Average Score Per Taxon Index (ASPT) [8] рассчитывается по формуле:

$$ASPT = \frac{BMWP}{n}, \quad (3)$$

где **BMWP** (Biological Monitoring Working Party Index) — индекс, равный количеству индикаторных видов в пробе (согласно табличным данным [3]); n — число выявленных видов в пробе.

Индекс ASPT имеет семь градаций качества воды (табл. 4).

Таблица 4

Значение индекса ASPT и качество воды

ASPT	Качество воды	Условное обозначение группы
> 5	Прекрасное	7
4,5...4,9	Очень хорошее	6
4,1...4,4	Хорошее	5
3,6...4,0	Посредственное	4
3,1...3,5	Скорее плохое	3
2,1...3,0	Плохое	2
< 2,0	Очень плохое	1

Особенностью индекса *ASPT* является отсутствие учета случайных таксономических групп, обнаруженных в пробе.

Индекс Балушкиной (*IB*) [10] используется преимущественно в странах СНГ. Он основан на использовании в качестве биоиндикаторов представителей семейства хирономид (личинки насекомых отряда двукрылых). Под влиянием загрязнения происходит снижение числа видов хирономид и смена их видового состава [10].

Индекс Балушкиной отражает изменение соотношения видов, принадлежащих к подсемействам *Chironomidae*, *Orthoclaadiinae* и *Tanipodinae*. Расчет индекса выполняется по формуле:

$$IB = \frac{A_r + 0,5A_{ch}}{A_{or}}, \quad (4)$$

где A_r , A_{ch} и A_{or} — число видов, относящихся к семействам *Tanipodinae*, *Chironomidae* и *Orthoclaadiinae* соответственно.

В табл. 5 приведена классификация качества воды по величине индекса *IB*.

Недостатком применения индекса Балушкиной является то, что при расчете не требуется тщательного определения видового состава личинок хирономид [10]. На значение индекса *IB* может влиять сезонная динамика образования взрослых особей отдельных систематических групп хирономид, а также размер пробы, особенно в тех случаях, когда число хирономид невелико. Кроме того, в связи с тем, что в основе расчета индекса используются только хирономиды, индекс в большей степени отражает состояние донных отложений и в меньшей — качество самой воды.

Index of Well-Being (*IWB*) [6] разработан в 1976 г. для оценки реакции речных рыб на антропогенное воздействие и широко используется в США. При расчете данного индекса учитывается число и биомасса особей по формуле:

$$IWB = 0,5 \ln N + 0,5 \ln B, \quad (5)$$

где N — число всех выявленных видов в пробе; B — биомасса всех выявленных видов в пробе.

Классификация качества воды по значению индекса *IWB* приведена в табл. 6.

Таблица 5

Классификация качества воды по значению индекса Балушкиной (*IB*)

<i>IB</i>	Степень загрязнения воды
0,14...1,08	Чистые
1,09...6,50	Умеренно загрязненные
6,51...9,00	Загрязненные
9,01...11,50	Грязные

Основным из недостатков индекса *IWB* является его низкая сходимость с реальной экологической обстановкой. В ряде случаев при низком качестве воды по физико-химическим показателям значение индекса свидетельствовало об обратном [6]. По-видимому, это связано с тем, что даже при высокой степени загрязненности водных объектов в них может наблюдаться высокая численность и биомасса устойчивых к загрязнению видов.

Citizen Monitoring Biotic Index (*CMBI*) [8] разработан в Висконсинском университете (США) в рамках программы "Water Action Volunteers — Volunteer Monitoring Factsheet Series" и предназначен для использования широким кругом людей, не являющихся специалистами в области биоиндикации. Индекс основан на учете численности видов, относящихся к четырем индикаторным группам зообентоса, ранжированных по чувствительности к загрязнениям. Для каждой индикаторной группы в руководстве по расчету *CMBI* [8] приведены соответствующие рисунки, позволяющие выполнить оценку качества воды даже неспециалистам в области изучения макрозообентоса. К данным индикаторным группам относятся таксоны, перечисленные в табл. 7.

Расчет индекса производится по формуле:

$$CMBI = \frac{4N_1 + 3N_2 + 2N_3 + N_4}{n}, \quad (6)$$

где N_1 , N_2 , N_3 , N_4 — численность представителей первой, второй, третьей и четвертой групп соответственно; n — общее число особей в пробе.

Таблица 6

Значения индекса *IWB* и качество воды

<i>IWB</i>	Качество воды
>9,5	Высокое
9,4...7,4	Хорошее
7,3...5,4	Посредственное
5,3...4,5	Плохое
<4,5	Очень плохое

Таблица 7

Соответствие таксонов индикаторным группам, учитываемым при расчете индекса *CMBI*

Номер индикаторной группы	Наименование таксона
1	<i>Plecoptera</i> , <i>Coridalidae</i> , <i>Sialidae</i>
2	<i>Trichoptera</i> , <i>Decapoda</i> , <i>Anisoptera</i> , <i>Odonata</i> (<i>Aeshna</i> , <i>Colopteryx</i>) <i>Ephemeroptera</i> , <i>Coenagriidae</i>
3	<i>Simulidae</i> , <i>Amphipoda</i> , <i>Mollusca</i> (левозакрученная раковина), личинки <i>Culicidae</i>
4	<i>Mollusca</i> (правозакрученная раковина), <i>Isopoda</i> , <i>Chironomidae</i> , <i>Hirudinea</i> , <i>Tubifex</i>

Таблица 8

Классификация качества водных объектов по значению индекса *СМВИ*

<i>СМВИ</i>	Качество водного объекта
>3,6	Очень хорошее
3,5...2,6	Хорошее
2,5...2,1	Посредственное
2,0...1,0	Плохое

Классификация состояния водных объектов по значению индекса *СМВИ* приведена в табл. 8.

Индекс *СМВИ* разработан для широкого круга людей, работающих в природоохранных органах, и может быть использован лишь для экспресс-оценки качества воды ввиду низкой точности и учета ограниченного количества систематических групп.

Таким образом, сравнительный анализ рассмотренных выше показателей биологического контроля качества воды выявил, что индекс сапробности наиболее полно отражает экологическое состояние водных объектов, так как учитывает значительное число систематических групп и лишен ряда недостатков, свойственных прочим индексам. Кроме того, индекс сапробности учитывает не только численность видов и биоразнообразие видов, но также индивидуальную чувствительность каждого вида к загрязнению.

В связи с этим целесообразно использовать индекс сапробности для оценки состояния водных объектов в зоне влияния промышленных объектов и антропогенно-нагруженных территорий.

Оценка качества воды в реке Шугуровке, г. Уфа

Река Шугуровка, правый приток реки Уфы, имеет протяженность 15 км, площадь водосбора составляет 95 км², среднемноголетний расход 0,54 м³/с. Шугуровка является водотоком, в который сбрасываются сточные воды химических, нефтехимических и других предприятий северной части города. Схема расположения источников загрязнения реки Шугуровки по территории ее водосборного бассейна приведена на рис. 1.

Как видно из рис. 1, на территории водосбора реки Шугуровки находится множество объектов антропогенной деятельности, расположенных в непосредственной близости от водотока. Многообразие источников загрязнения реки Шугуровки обуславливает значительное количество загрязнителей, специфичных для каждого промышленного объекта. Следовательно, для оценки состояния реки Шугуровки необходимо проведение комплексного физико-химического анализа состава воды в реке по высокому числу показателей качества. В этой связи целесообразна оценка состояния сообщества гидробионтов водотока для выявления степени негативного воздействия объектов промышленности на реку Шугуровку.

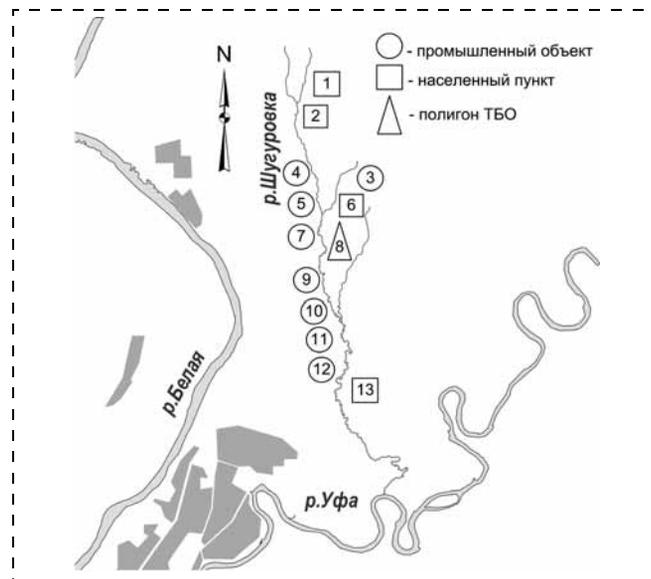


Рис. 1. Схема расположения источников загрязнения реки Шугуровки:

1 — д. Ст. Турбаслы; 2 — д. Аркаул; 3 — нефтебаза; 4 — завод "Уфанефтехим"; 5 — Ново-Уфимский нефтеперерабатывающий завод; 6 — д. Черкассы; 7 — Уфимский завод синтетического спирта; 8 — полигон ТБО "Новые Черкассы"; 9 — завод железобетонных конструкций; 10 — Уфимский нефтеперерабатывающий завод; 11 — Уфахимпром; 12 — Уфаоргсинтез; 13 — д. Тимашево

Для оценки качества воды реки Шугуровки проведен отбор проб фитопланктона в рассматриваемом водотоке. Пробы отбирались на 15 постах в 2010 и 2011 г. Критериями выбора участка водотока в качестве поста наблюдения являлись сходство экологических условий на различных участках и максимально полный охват гидрографической сети реки Шугуровки. Схема расположения постов приведена на рис. 2.

Отбор проб осуществлялся батометром на основе стандартных методик, описанных в литературе [3, 8, 10]. Пробы отбирались каждый год с периодичностью 1 раз в месяц (май—октябрь). Всего за период исследования отобрано 180 проб. Далее пробы анализировались, определялся видовой состав, а также численность особей каждого вида. Перечень видов фитопланктона, обнаруженных в реке Шугуровке в результате отбора проб в 2010—2011 гг., приведен в табл. 9.

Из табл. 9 видно, что видовой состав фитопланктона реки Шугуровки насчитывает 33 вида. Из них практически везде на различных участках реки попадаются виды *Chlorella vulgaris* и *Microcystis aeruginosa*. Для данных видов характерна повсеместная встречаемость в водных объектах и толерантность к высоким уровням загрязнения [3]. Станцией с наибольшим видовым разнообразием является станция № 2 (18 видов), расположенная в нижнем течении реки, что, по-видимому, связано с увеличе-

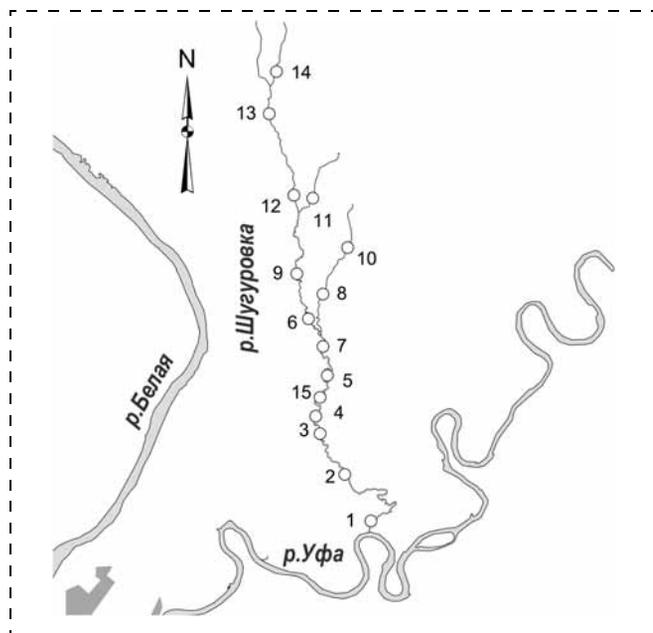


Рис. 2. Расположение станций отбора проб фитопланктона на реке Шугуровке (порядковые номера станций указаны цифрой на рисунке)

нием полноводности и отсутствием источников загрязнения на рассматриваемом участке (см. рис. 1).

Анализ отобранных проб показал, что наиболее высокая численность особей фитопланктона наблюдается в августе каждого года. В связи с этим оценка состояния водотока по состоянию гидробиоценоза проводилась на основе данных о численности видов в августе. Для этого составлен перечень индикаторных сапробных видов среди всех обнаруженных и проведен расчет индекса сапробности. Результаты расчета приведены в табл. 10.

Как видно из табл. 10, значение индекса сапробности в августе варьируется в диапазоне 1,73...3,60 в 2010 г. и в диапазоне 1,75...4,36 в 2011 г. Максимальное значение индекса сапробности в 2010 г. наблюдалось на станции № 11, а в 2011 г. — на станциях № 1 и № 5 (полисапробная зона), что свидетельствует о высокой степени загрязненности воды. Вероятно, высокое значение индекса сапробности на станции № 1 в 2011 г. (4,36) обуславливается размещением станции в зоне устья реки, где сказывается влияние всех источников загряз-

Таблица 9

Видовой состав фитопланктона в реке Шугуровке (номера станций отбора проб согласно рис. 2)

Вид	Встречаемость вида на станции отбора проб														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Amphora ovalis</i>		+													
<i>Archnanthes minutissima</i>	+														
<i>Asterionella formosa</i>		+													
<i>Chlamidomonas Ehrenbergii</i>					+							+		+	
<i>Chlorella vulgaris</i>	+	+	+			+		+	+		+	+	+		+
<i>Cocconeis pediculus</i>		+													
<i>Cymatopleura elliptica</i>		+	+						+						
<i>Cymatopleura solea</i>		+	+												
<i>Diatoma vulgare</i>								+					+		
<i>Fragilaria intermedia</i>		+							+				+		
<i>Fragilaria nitzchioides</i>		+											+		+
<i>Gyrosigma acuminatum</i>		+	+							+					
<i>Melosira varians</i>		+	+												+
<i>Meridion circuale</i>		+					+			+					
<i>Microcystis aeruginosa</i>	+	+	+		+	+		+			+	+	+		
<i>Navicula cryptocephala</i>											+				
<i>Navicula hungarica</i>		+	+							+			+		
<i>Navicula laterostrata</i>		+													
<i>Navicula radiosa</i>	+	+	+									+			
<i>Navicula sp.</i>		+													
<i>Navicula vermicularis</i>									+					+	
<i>Navicula viridula</i>		+	+										+	+	
<i>Nitzschia acicularis</i>													+		
<i>Nitzschia capitellata</i>	+												+		
<i>Oocystis cracca</i>								+							
<i>Opephora martyi</i>	+														
<i>Phormidium autumnale</i>										+				+	
<i>Pinnularia lata</i>				+			+			+					
<i>Pinnularia lata var. minor</i>			+												
<i>Scenedesmus quadricauda</i>			+												
<i>Surirella didyma var. minor</i>									+						
<i>Surirella linearis var. minor</i>	+	+													
<i>Synedra ulna</i>			+										+		



Таблица 10

Результаты расчетов индекса сапробности на различных участках реки Шугуровки за 2010 – 2011 г. (номера станций отбора проб согласно рис. 2)

Месяц	Станции отбора проб														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2010															
Май	2,52	3,51	2,49	2,59	2,17	2,93	—	1,83	1,75	2,62	1,94	2,28	2,07	2,16	2,29
Июнь	2,26	2,56	2,19	2,38	2,16	—	—	1,95	2,27	—	2,62	2,44	2,00	2,12	2,17
Июль	2,39	1,76	2,38	—	2,26	2,79	—	2,45	2,37	—	2,49	2,64	2,26	3,15	2,87
Август	1,73	1,80	2,80	2,80	2,80	2,71	—	—	1,73	—	3,60	—	2,59	2,45	2,45
Сентябрь	2,05	—	2,48	1,75	2,16	1,93	—	1,82	2,04	—	2,26	1,70	0,59	2,04	—
Октябрь	3,60	1,75	—	1,70	2,47	1,40	—	—	1,99	—	—	1,70	—	1,75	—
2011															
Июнь	2,40	2,20	1,92	2,03	2,32	1,13	3,15	1,67	1,43	—	1,21	2,45	2,68	0,55	—
Август	4,36	—	3,10	2,22	4,18	—	—	—	—	—	2,88	—	3,60	—	1,75
Примечание. Прочерки в графах означают, что нет данных.															

нения водотока. В то же время данные результаты не согласуются с низким значением индекса сапробности в 2010 г. (1,73). Аналогично, при высоком значении индекса сапробности станции № 11 в 2010 г. (3,60) значение данного показателя в 2011 г. значительно ниже (2,88).

Анализ табл. 10 в целом не позволяет дать однозначную оценку состояния воды реки Шугуровки, испытывающей воздействие от объектов промышленности на различных участках водотока, что, по-видимому, может быть объяснено малой продолжительностью периода исследований и отсутствием учета прочих экологических групп гидробионтов (зоопланктон, зообентос, макрофиты).

Выводы

Проведен сравнительный анализ различных показателей биологического контроля состояния водных объектов. Выявлено, что практически все рассмотренные показатели обладают рядом недостатков — ограниченной применимостью, отсутствием учета различных систематических групп организмов и т. д.

Из всех приведенных показателей индекс сапробности представляется наиболее применимым для оценки состояния водных объектов.

Проведен отбор проб фитопланктона реки Шугуровки с целью оценки экологического состояния водотока. Показано, что на отдельных участках реки наблюдается высокая степень загрязненности воды. Результаты исследования различных лет не всегда согласуются друг с другом, что может быть связано с малой продолжительностью периода исследований.

Список литературы

1. Гареев А. М. Реки и озера Башкортостана. — Уфа: Китап, 2001. — 260 с.
2. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства. Утв. приказом Минприроды РФ от 13 апреля 2009 г. — № 87.
3. Мелехова О. П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. — М.: Издательский центр "Академия", 2007. — 288 с.
4. Подунова Л. Г., Кривопалова Н. С., Сорокина Р. С. и др. Экспресс-метод бактериологического контроля за качеством питьевой воды // Стендовый доклад II Международного конгресса "Вода: Экология и технология" ЭКВАТЭК-96. — М., 2006.
5. Красногорская Н. Н., Кутляхметов А. Н., Елизарьев А. Н., Кияшко И. Ю., Трусова И. В. Мониторинг объектов складирования отходов в пределах речных бассейнов // Проблемы региональной экологии. — 2011. — № 4. — С. 90—100.
6. Химический факультет МГУ. [Электронный ресурс] / методы анализа. — Режим доступа: <http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/lecture-courses-nonchem/analchem.html> — Загл. с экрана. — Яз. рус. 19.04.12.
7. Потанов А. И. Мониторинг, контроль управление качеством окружающей среды. Часть 3. Оценка и управление качеством окружающей среды. — СПб.: РГГМУ, 2005. — 600 с.
8. Семенченко В. П. Принципы и системы биоиндикации текучих вод. — Минск: Орех, 2004. — 125 с.
9. Розенберг Г. С., Шитиков В. К., Брусилковский П. М. Экологическое прогнозирование (Функциональные предикторы временных рядов). — Тольятти, 1994. — 182 с.
10. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. — Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. — 463 с.
11. World Water Forum [Электронный ресурс] / Time for solutions. Режим доступа: <http://www.worldwaterforum6.org/en/> — Загл. с экрана. — Яз. англ. 19.04.12.
12. Пивоваров Ю. П., Королик В. В. Санитарно-значимые микроорганизмы (таксономическая характеристика и дифференциация). — М., 2000.
13. ГОСТ Р 51592—2000 Вода. Общие требования к отбору проб (принят и введен в действие постановлением Госстандарта РФ от 21 апреля 2000 г. N 117-ст).
14. Определитель бактерий Берджи / Под редакцией Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Дж. Стейли и С. Уилльямса. — М.: Мир, 2007. — Т. 1.

Е. В. Фатьянова, канд. техн. наук, нач. отдела, **Р. М. Хатмуллина**, канд. хим. наук, нач. отдела, **В. И. Сафарова**, д-р хим. наук, проф., начальник, **Н. Б. Шадианова**, вед. спец., **А. Т. Магасумова**, канд. хим. наук, нач. отдела, Управление государственного аналитического контроля, г. Уфа
E-mail: ugak2004@mail.ru

Изменение гидрохимического состава воды в реке как критерий для выявления источников загрязнения гидросферы

Представлены результаты химического анализа проб природной воды, отобранных в зонах влияния предприятий различных отраслей промышленности. Установлено, что под воздействием сточных вод промышленных предприятий происходит изменение гидрохимического состава воды, которое может быть критерием для выявления источника загрязнения водного объекта.

Ключевые слова: мониторинг, гидрохимический состав воды, хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты

Fatyanova E. V., Khatmullina R. M., Safarova V. I., Shadiyanova N. B., Magasumova A. T. The Hydrochemical Composition Changing of the Water in the River as a Criterion to Identify the Sources of Pollution of the Hydrosphere

Natural water samples were taken in the zones of influence of various industries and the results of the chemical analysis were presented. Hydrochemical composition of the water changed under the influence of wastewater. Changing of the hydrochemical type of water could be a criterion to identify the source of contamination of water object.

Keywords: monitoring, hydrochemical composition of water, chlorides, sulphates, hydrocarbonates

Введение

Основным критерием для выявления источника загрязнения водного объекта является обнаружение компонентов, не характерных для природных вод и специфичных для сточных вод конкретных предприятий — "отпечатков предприятий" [1]. Сложнее выявить источник загрязнения в тех случаях, когда предприятия сбрасывают со сточными водами компоненты, которые могут поступать от нескольких предприятий (например, тяжелые металлы, полициклические ароматические углеводороды и др.). В этом случае критериями для выявления источника загрязнения является превышение концентраций токсикантов, обнаруженных в створе ниже сброса конкретного предприятия, над их фоновым содержанием, а также соотношения концентраций определяемых компонентов.

Особого внимания требуют случаи, когда предприятия сбрасывают компоненты, характерные для состава природной воды (например, хлориды, сульфаты и др.). В этом случае влияние сбросов предприятия на качество воды можно выявить по нарушению гидрохимического состава природных вод на участках рек ниже сброса сточных вод.

Гидрохимический состав воды отражает условия, в которых находится водоем и происходящие в нем изменения. Формирование химического состава вод в естественных условиях определяется общими геолого-тектоническими и природными ландшафтно-климатическими условиями [2]. Ионный состав формируется в зависимости от пород земной коры, через которые протекает река. К числу содержащихся в природной воде ионов относятся: анионы гидрокарбонаты (HCO_3^-), сульфаты (SO_4^{2-}), хлориды (Cl^-) и катионы кальция (Ca^{2+}), магний (Mg^{2+}), натрий (Na^+), калий (K^+). По их составу, а точнее по преобладающему аниону в эквивалентной форме, природные воды подразделяют на три класса — гидрокарбонатный, сульфатный и хлоридный [3].

Гидрокарбонат-ионы преобладают в пресных водах, сульфаты — в солоноватых, а хлориды — в соленых водах. К гидрокарбонатному классу относится большая часть пресных вод суши — рек, озер, водохранилищ и некоторые подземные воды. Хлоридный класс характерен для высокоминерализованных вод внутренних морей, соленых озер, рек полупустынной и пустынной зоны, подземных вод закрытых структур. Сульфатные воды занимают промежуточное положение между гидрокарбонатными и хлоридными водами, например, это некоторые подземные воды.

Целью данной работы является исследование гидрохимического состава природных вод с целью выявления источников загрязнения гидросферы.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись пробы воды, отобранные из рек Белая, Уфа, Таналык, Худолаз в зонах влияния предприятий различных отраслей промышленности. Отбор проб воды осуществляли в соответствии с ГОСТ 51592—2000 [4]. Анализ



отобранных проб воды проводили по соответствующим методикам [5–9].

Для записи гидрохимического состава воды использовали формулу Курлова [10]:

$$M_{261} = \frac{\text{HCO}_3^3 \text{SO}_4^4 \text{Cl}_4}{\text{Ca}_{55} \text{Mg}_{44} (\text{Na} + \text{K})_1} \quad (1)$$

В этой формуле слева перед дробью записывается округленная величина общей минерализации, выраженная в г/дм³. В числителе дроби в порядке уменьшения концентраций записывают в виде химических формул анионы, а в знаменателе — катионы. Рядом с химическим символом анионов сверху записывают химический индекс, показывающий число атомов элемента в анионе (например, для аниона SO_4^{2-} , содержащего 4 атома кислорода, запись в формуле Курлова будет выглядеть как SO_4^4). Рядом с химическим символом иона снизу цифрами записывают величину его концентрации, выраженную в процент-эквивалентах (%-экв), означающих содержание анионов или катионов в процентах от их общей концентрации, выраженной в мг-экв/дм³. Рассчитывается отдельно для анионов и катионов:

$$\% \text{-экв} = \frac{C_{\text{экв.аниона}}}{\sum C_{\text{экв.анионов}}},$$

где $C_{\text{экв.аниона}}$ — эквивалентная концентрация аниона, мг-экв/дм³; $\sum C_{\text{экв.анионов}}$ — сумма эквивалентных концентраций анионов, мг-экв/дм³.

Аналогично %-экв рассчитывается для катионов.

Название типа воды в соответствии с формулой Курлова дается следующим образом: в название входят анионы и катионы, имеющие эквивалентную концентрацию более 20 %-экв; сначала перечисляются анионы, затем катионы, причем в первую очередь перечисляются подчиненные анионы и катионы, а затем преобладающие. Так, вода в соответствии с формулой (1) является сульфатно-гидрокарбонатно-магниево-кальциевой. Эквивалентное содержание хлоридов, натрия и калия составляет менее 20 %-экв, поэтому в название типа воды эти ионы не входят.

Обсуждение результатов

Территория Республики Башкортостан (РБ) в геотектоническом отношении характеризуется комплексом пород, таких как известняки, доломиты, песчаники и сланцы [11–16]. Известняковые породы представляют собой безводный карбонат кальция (CaCO_3), доломит — это минерал, состоящий из карбонатов кальция и магния ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). Таким образом, при взаимодействии с этими породами естественным природным химическим составом водных объектов Башкортостана будет гидрокарбонатно-магниево-кальциевый, преобладающими анионами — гидрокарбонаты, а преобладающими катионами — кальций и магний.

При поступлении в реки сильноминерализованных сточных вод химических или горнорудных предприятий гидрохимический состав поверхностных вод нарушается, и преобладающими ионами могут стать сульфаты, хлориды или натрий. Таким образом, оценивая анионный и катионный состав природных вод, можно выявить антропогенное воздействие на гидросферу и источники ее загрязнения.

В таблице приведены результаты химического анализа проб воды рек Белой, Уфы, Таналык, Худолоз, отобранных в зонах влияния предприятий различных отраслей промышленности, и формулы Курлова, отражающие гидрохимический состав воды в соответствующих створах. Из таблицы видно, что сформированный в верховьях химический состав воды реки Белая (гидрокарбонатно-магниево-кальциевый) меняется по течению реки, а именно изменяются концентрации и процентные соотношения анионов и катионов в результате как природных процессов, так и поступления промышленных сточных вод.

В створе реки, расположенном ниже г. Стерлитамака, резко возрастают концентрации хлоридов, кальция, натрия и гидрокарбонатов, поступающих в реку Белую со сточными водами химического предприятия по производству кальцинированной соды. Ниже по течению концентрации хлоридов и натрия снижаются за счет разбавления воды и процессов самоочищения. Однако, несмотря на снижение концентрации хлоридов по течению реки Белой, их эквивалентное содержание в створе ниже г. Уфы составляет около 30 %-экв от суммарного содержания анионов, т. е. химический состав воды так и не достигает фонового значения. В створе, расположенном ниже г. Уфы, возрастает доля сульфатов, что объясняется сбросом городских сточных вод и впадением реки Демы, загрязненной сульфатами.

Таким образом, гидрокарбонатно-магниево-кальциевый состав воды реки Белой, сформированный в верховьях, меняется в результате сброса сточных вод химического предприятия на гидрокарбонатно-хлоридно-кальциевый (т. е. $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$), а ниже г. Уфы меняется на сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатно-магниево-кальциевый ($\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$; $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$).

Гидрохимический состав воды реки Уфы на всем ее протяжении по территории РБ характеризовался как сульфатно-гидрокарбонатно-магниево-кальциевый ($\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$; $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$). Формирование химического состава воды реки Уфы начинается на территории Свердловской области. Из таблицы видно, что вода реки характеризуется достаточно большой долей сульфатов (33 %-экв) и магния (44 %-экв). Ниже по течению реки соотношение между анионами и катионами особенно не меняется,

т. е. на территории республики не выявлено источников загрязнения реки Уфы.

Из таблицы видно также, что вода, отобранная из реки Таналык выше г. Баймака, относилась к сульфатно-гидрокарбонатно-магниевому типу. После сброса коммунальных сточных вод г. Баймака в воде возросли доли сульфатов и хлоридов, однако тип воды не изменился. В створе выше п. Бурибая доля хлоридов составляла 33 %-экв, а в створе ниже п. Бурибая, расположенном в зоне влияния горно-обогатительного комбината, увеличилась доля сульфатов (до 38 %-экв), причем сульфат-ион становится преобладающим анионом в воде этого створа ($\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$).

На формирование химического состава воды реки Худолаз оказывает влияние ее приток — река Карагайлы, подверженная воздействию сточных вод горно-обогатительного комбината. Выше устья реки Карагайлы вода реки Худолаз характеризовалась хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатно-магниевым типом ($\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$, $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$), а ниже устья резко возросли концентрации в воде сульфатов и магния, и тип воды сменился на гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатно-кальциево-магниевый ($\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$, $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$).

Из таблицы видны превышения нормативов, зафиксированные в реке Белой по хлоридам (1,1 ПДК)

Содержание основных анионов и катионов и гидрохимический состав воды рек Белой, Уфы, Таналык, Худолаз

Место отбора проб воды	Содержание в воде, мг/дм ³							Формула Курлова
	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	
ПДК _{рыб.хоз.}	не уст.	100	300	180	40	120	50	
Река Белая								
Верховья реки	112	19	2,8	16	8	3,1	0,2	$M_{112} = \frac{\text{HCO}_3^3 \text{SO}_4^4 \text{Cl}_3}{\text{Ca}_{72} \text{Mg}_{23} (\text{Na} + \text{K})_5}$
Ниже г. Стерлитамака	182	45	315	279	18	52	1,9	$M_{819} = \frac{\text{Cl}_{69} \text{HCO}_3^3 \text{SO}_7^4}{\text{Ca}_{85} \text{Mg}_9 (\text{Na} + \text{K})_5}$
Ниже г. Уфы	185	106	81	88	17	31	1,4	$M_{631} = \frac{\text{HCO}_3^3 \text{Cl}_{30} \text{SO}_4^4}{\text{Ca}_{69} \text{Mg}_{22} (\text{Na} + \text{K})_8}$
Река Уфа								
Граница со Свердловской областью	182	76	6	56	27	2,47	0,65	$M_{261} = \frac{\text{HCO}_3^3 \text{SO}_3^4 \text{Cl}_4}{\text{Ca}_{55} \text{Mg}_{44} (\text{Na} + \text{K})_1}$
Павловское водохранилище (верхний бьеф)	137	70	4,6	42	11	2,9	0,71	$M_{211} = \frac{\text{HCO}_3^3 \text{SO}_3^4 \text{Cl}_3}{\text{Ca}_{68} \text{Mg}_{30} (\text{Na} + \text{K})_2}$
Устье, г. Уфа	190	93	6	66	13	4,9	0,78	$M_{325} = \frac{\text{HCO}_3^3 \text{SO}_3^4 \text{Cl}_3}{\text{Ca}_{74} \text{Mg}_{24} (\text{Na} + \text{K})_2}$
Река Таналык								
Выше г. Баймака	210	64	10	50,1	18	17	1,6	$M_{289} = \frac{\text{HCO}_3^3 \text{SO}_4^4 \text{Cl}_6}{\text{Ca}_{58} \text{Mg}_{35} (\text{Na} + \text{K})_7}$
Ниже г. Баймака	243	118	31,6	68	22	33	2,2	$M_{471} = \frac{\text{HCO}_3^3 \text{SO}_4^4 \text{Cl}_{12}}{\text{Ca}_{59} \text{Mg}_{31} (\text{Na} + \text{K})_{10}}$
Выше п. Бурибая	212	113	100	64	24	54	2,6	$M_{536} = \frac{\text{HCO}_3^3 \text{Cl}_{33} \text{SO}_4^4}{\text{Ca}_{52} \text{Mg}_{33} (\text{Na} + \text{K})_{15}}$
Ниже п. Бурибая	183	183	119	86	39	61	2,7	$M_{724} = \frac{\text{SO}_4^4 \text{Cl}_{32} \text{HCO}_3^3}{\text{Ca}_{50} \text{Mg}_{38} (\text{Na} + \text{K})_{12}}$
Река Худолаз								
Выше устья р. Карагайлы	207	111	83	80	29	42	1,1	$M_{594} = \frac{\text{HCO}_3^3 \text{SO}_4^4 \text{Cl}_{29}}{\text{Ca}_{56} \text{Mg}_{34} (\text{Na} + \text{K})_{10}}$
Ниже устья р. Карагайлы	169	342	107	152	102	83	2,4	$M_{1441} = \frac{\text{SO}_4^4 \text{Cl}_{23} \text{HCO}_3^3}{\text{Mg}_{49} \text{Ca}_{43} (\text{Na} + \text{K})_8}$



и кальцию (1,6 ПДК) в створе ниже г. Стерлитамака; по сульфатам (1,1 ПДК) — в створе ниже г. Уфы. В реке Таналык концентрации сульфатов превышали ПДК до 1,8 раза, в реке Худолаз — в 1,1–3,4 раза.

Обнаруженные в результате наблюдений превышения нормативов хотя и свидетельствуют о загрязнении рек, однако имеют невысокие значения. Изменение гидрохимического типа воды является более серьезным свидетельством негативного воздействия источников загрязнения на качество воды в реках.

Список литературы

1. Фатьянова Е. В., Хатмуллина Р. М., Сафарова В. И., Шайдулина Г. Ф., Магасумова А. Т. Критерии для выявления источников загрязнения водных объектов на территориях с высокой антропогенной нагрузкой // Экоаналитика—2009: Сб. материалов конференции по анализу объектов окружающей среды. — Июшкар-Ола, 2009. — С. 222–223.
2. Нежиховский Р. А. Гидролого-экологические основы водного хозяйства. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — 229 с.
3. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: Справочные материалы / Под ред. Т. В. Гусевой. — М.: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2007. — 192 с.
4. ГОСТ 51592—2000. Вода. Общие требования к отбору проб. — М.: Издательство стандартов. — 2000. — 31 с.
5. ПНД Ф 14.1:2.4.137—98. Методика выполнения измерений массовой концентрации магния, кальция и стронция в питьевых, природных и сточных водах методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

6. ПНД Ф 14.1:2.4.138—98. Методика выполнения измерений массовых концентраций калия, лития, натрия и стронция в пробах питьевых, природных и сточных вод методом пламенно-эмиссионной спектроскопии.
7. ПНД Ф 14.1:2.159—2000. Методика выполнения измерений массовой концентрации сульфат-ионов в пробах природных и очищенных сточных вод турбидиметрическим методом.
8. ПНД Ф 14.1:2.111—97. Методика выполнения измерений массовых концентраций хлорид-ионов в питьевых, поверхностных и очищенных сточных водах меркуриметрическим методом.
9. ПНД Ф 14.2.99—97. Методика выполнения измерений массовых концентраций гидрокарбонатов в пробах природных вод титриметрическим методом.
10. Резников А. А., Муликовская Е. П., Соколов И. Ю. Методы анализа природных вод. — М.: Недра, 1970. — 488 с.
11. Белан Л. Н. Геоэкология горнорудных районов Республики Башкортостан. — Уфа: РИО БашГУ, 2003.
12. Хазиев Ф. Х., Мукатанов А. Х., Хабилов И. К. и др. Почвы Башкортостана. Т. 1. Эколого-генетическая и агропроизводственная характеристика. — Уфа: Гилем, 1995. — 384 с.
13. Лысак Г. Н., Меринов М. М. Физические свойства почв и урожай. — Уфа: Башкирское книжное издательство, 1968. — 88 с.
14. Бульчук П. Я. Солонцы, солонцеватые и солончаковые почвы. Почвы Башкирии. Т. 1. — Уфа: БФАН СССР, 1973. — С. 350–383.
15. Гарифуллин Ф. Ш., Рамазанов Р. Я., Миндияров Д. Д., Акатьев А. П., Латыпов Ш. А. Водно-физические свойства пойменных почв Башкирии. / Почвообразовательные процессы в осушенных и пойменных землях Башкирии. — Уфа: БФАН СССР, 1982. — С. 12–31.
16. Хазиев Ф. Х., Герасимов Ю. В., Мукатанов А. Х., Бульчук П. Я., Курчиев П. А. Морфогенетическая и агропроизводственная характеристика почв Башкирской АССР. — Уфа: БФАН СССР, 1985. — 136 с.

УДК 504.064.36

Т. П. Смирнова¹, канд. хим. наук, зам. нач. отдела, Э. М. Гатауллина², канд. биол. наук, руководитель сектора, Г. Ф. Шайдулина¹, канд. техн. наук, нач. аналитической службы, В. И. Сафарова¹, д-р хим. наук, начальник

¹ Управление государственного аналитического контроля, г. Уфа

² ООО "Башнипинефть", г. Уфа
E-mail: ugak@bashnet.ru

Микробиологическое исследование воды и донных отложений водотока в зоне влияния предприятия по переработке медно-колчеданных руд

Описаны микробиологические исследования воды и донных отложений малых рек в зоне влияния крупных горно-обогатительных комбинатов. Представлены данные о наличии многих групп микроорганизмов в донных отложениях реки Карагайлы.

Ключевые слова: горно-обогатительные комбинаты, микробиологическое исследование, малые реки

Smirnova T. P., Gataullina E. M., Shaidulina G. F., Safarova V. I. Microbiological Examination of Water and Bottom Sediments of the Watercourses Near Enterprises for Processing Copper-Pyrite Ores

Conducted microbiological testing of water and bottom sediments of small rivers, in the zone of large mining and processing integrated works influence. Microbiological analysis revealed the presence in the bottom sediments of the river Karagaily many groups of microorganisms.

Keywords: mining and dressing plants, microbiological study, small rivers

Введение

Предприятия горнорудного комплекса играют определяющую роль в техногенной нагрузке на те регионы, в которых они расположены. Основными объектами воздействия их фильтрационных и сточных вод являются малые реки, находящиеся в зоне влияния горно-обогатительных комбинатов.

Оценка химического загрязнения природных объектов, расположенных в зоне влияния горно-обогатительных комбинатов, проводится по содержанию тяжелых металлов, которые являются основными составляющими рудных минералов. Однако для предприятий по переработке пиритных руд важным элементом, который следовало бы контролировать, является сера и ее соединения.

Это связано с тем, что при обогащении руд теряется до 5 % меди, молибдена, свинца, до 25 % цинка и никеля, до 40 % кобальта. Присутствующие в составе отходов сульфиды этих металлов, а также сульфиды железа, содержащие цветные металлы в виде изоморфных примесей, в процессе хранения окисляются, цветные металлы при этом переходят в водорастворимые соли [1]. В зарубежной научной литературе используют термины "acid mine drainage" (AMD) и "acid rock drainage" (ARD), обозначившие проблему закисления вод с объектов горнорудной промышленности, при котором происходит и загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами. Авторами, рассматривающими ARD, выделены несколько факторов, определяющих процессы окисления сульфидов: pH растворов, контактирующих с сульфидными минералами; химический состав, поверхность и морфология минералов; концентрация кислорода и железа в растворе; температура; гальванические взаимодействия контактирующих сульфидов; бактериальные взаимодействия. В ряде работ отечественных и зарубежных исследователей последних лет отмечается, что проблема кислых стоков определяется, главным образом, окислением пирита и марказита (FeS_2) и пирротина (FeS) [1].

Влияние кислых стоков показано на примере водотоков, расположенных в окрестностях г. Карабаша, на территории которого долгое время функционировала обогатительная фабрика и медеплавильный завод [2]. Общим для этих водных объектов является наличие сульфатного типа вод с высоким показателем минерализации, высокими концентрациями ионов тяжелых металлов, таких как свинец и кадмий. Это происходит в связи с попаданием кислых вод из прилегающих к реке водоемов, образованных на месте отработанных шахт, ливневых стоков с производственных площадок, фильтрационных вод с пиритных отложений в речной пойме и шламонакопителей, содержащих продукты окисления сульфидного материала. Например, концентрации тяжелых металлов в реке Сак-Элга достигали наибольших значений преимущественно в летне-осеннюю межень. Минерализация воды в это время была максимальной, а pH снижалась до 3,19...4,78, что свидетельствовало о закислении воды. Также было отмечено изменение кислородного режима водотока: значения растворенного кислорода

фиксируются на уровне 0,96...3,3 мг/дм³ при норме не менее 6 мг/дм³ в летний период [2].

В работе [3] отмечается, что отличительной особенностью малых рек — приемников металлоносных потоков является приобретение высокой устойчивости отдельных микроорганизмов к тяжелым металлам. Так, были обнаружены природные микроорганизмы (аэромонады и цитобактер), обладающие высокой металлоустойчивостью, связанной с постоянно повышенным фоном кадмия, цинка и меди в воде.

Малые реки, находящиеся в зоне влияния Башкирского медно-серного комбината (в настоящее время Сибайский филиал Учалинского ГОКа), загрязнены веществами, характерными для сточных вод ГОКов — Cu, Zn, Cd, Pb, SO_4^{2-} , Cl, Se, Hg. Следует отметить, что процессы, связанные с функционированием биологических объектов, в основном отвечающих за очищение природных вод и восстановление биотопов малых рек, весьма актуальны, но недостаточно исследованы.

Под воздействием предприятий Учалинского промышленного узла также происходит загрязнение поверхностных и подземных вод прилегающей территории, при этом концентрации тяжелых металлов в воде значительно превышают ПДК [4].

В то же время с большой долей вероятности можно утверждать, что процессы самоочищения исследуемых рек зависят от таких факторов, как температура воды, минерализация, pH, концентрация токсичных тяжелых металлов, кислородный режим водотока, а также от биологических особенностей микроорганизмов, а именно — их способности приспосабливаться к окружающей среде. Вероятно, что для микробных сообществ, обитающих в природных средах, подверженных влиянию ГОКа, характерно возникновение между отдельными видами микробов антагонистических отношений. Это связано с тем, что продукты жизнедеятельности сероокисляющих и тионовых бактерий, которые являются доминирующими видами микроорганизмов в районах расположения горнорудных предприятий [9], являются ядовитыми для видов-аборигенов, населяющих водоток, и могут вызывать целый ряд негативных процессов, вплоть до исчезновения видов микроорганизмов, принимающих участие во внутриводоемных процессах самоочищения.

При рассмотрении процессов самоочищения водоема с практической точки зрения микроорганизмы могут быть расценены как полезные или вредные. К группе полезных аэробных организмов можно отнести большое количество сапрофитов и их спутников, разлагающих органические вещества до конечных продуктов — двуокиси углерода и воды, а в анаэробных — до более простых органических соединений: спиртов, летучих жирных кислот, метана и двуокиси углерода [2]. Необходимо отметить, что избыток полезных микробов оказывает вредное действие на процессы самоочищения; при этих условиях их можно назвать вредными.

Помимо химических и биологических процессов, протекающих в водных объектах, необходимо также отметить роль физических факторов, способствующих



щих самоочищению водоемов: действие прямых солнечных лучей и разбавление водой чистых притоков. Вместе с тем дефицит чистых вод, маловодность малых рек, протекающих в зоне влияния ГОК, обуславливает ключевую роль микробиологических агентов в процессах самоочищения.

Из имеющихся литературных и полученных нами данных можно сделать вывод, что жизнедеятельность микроорганизмов зависит от следующих основных факторов:

- температура, при которой наблюдается активизация роста в теплое время года (10...25 °С) [5];
- обеспеченность кислородом: в летний период в малых реках с высокой минерализацией воды и низким показателем рН содержание кислорода минимальное [8];
- кислотно-основная реакция среды, оптимальное значение рН для микроорганизмов от 4 до 10; при значении рН менее четыре условия благоприятны для роста только тионовых бактерий [6];
- токсическое действие растворенных форм тяжелых металлов (мышьяк, ртуть, медь), а также сильно щелочных и кислых вод; особенно вредны для микроорганизмов хлориды ртути, свинца, меди, железа и цинка; при этом замечено, что малые концентрации сулемы (0,000005 %) стимулируют развитие микробов, а концентрация 0,007 % приводит их к мгновенной гибели [3].

Объект и методы исследования

Проведено микробиологическое исследование биоценоза воды и донных отложений реки Карагайлы, являющейся приемником сточных вод ГОКа, молочно-консервного комбината и городских очистных сооружений. Донные отложения были отобраны в восьми створах (см. рисунок).

Анализ отобранных проб воды и донных отложений биологическими методами включал идентификацию и изучение роста микробиоценоза реки Карагайлы на питательной среде с добавлением природной воды.

Исследование заключалось в определении общей численности гетеротрофных микроорганизмов, сульфатовосстанавливающих бактерий (СВБ), углерод- и сероокисляющих микроорганизмов. Для выделения микроорганизмов использовали жидкие селективные среды.

Определение титра СВБ проводили на синтетической питательной среде Постгейта, тионовых бактерий — на питательных средах Бейеринка, Ваксмана, Летена.

Выделение и получение чистых культур гетеротрофных микроорганизмов

Учет численности гетеротрофной аэробной микрофлоры и аммонификаторов проводили на питательной среде (мясопептонном агаре) следующего состава, г/л: гидролизат мяса 10,0; NaCl — 5,0; дрожжевой автолизат — 2,0; агар — 13,0; дистиллированная вода — 1 л; рН = 7,0 ± 0,2.

Учет численности углеводородокисляющих микроорганизмов проводили на питательной среде Раймонда, г/л: NH₄NO₃ — 2,0; NaH₂PO₄ · 12 H₂O — 1,5; K₂HPO₄ × 2H₂O — 1,0; MgSO₄ · 7H₂O — 0,2; Na₂CO₃ — 0,1; MnSO₄ · 7H₂O — 0,02; FeSO₄ · 7H₂O — 0,02; CaCl₂ — 0,01; нефть — 10, дистиллированная вода — 1 л.

Скрининг микроорганизмов, принимающих участие в круговороте серы

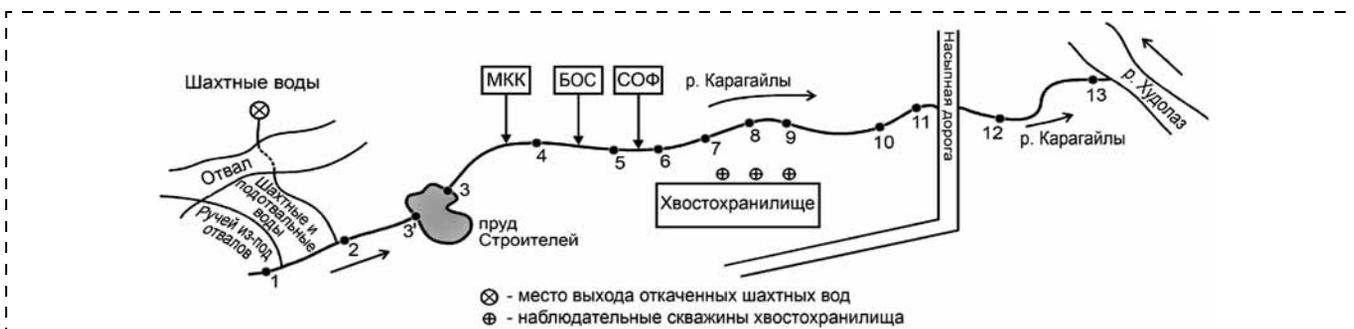
Скрининг микроорганизмов, принимающих участие в круговороте серы, проводили на селективной питательной среде Сорокина следующего состава, г/л: KH₂PO₄ — 0,5; K₂HPO₄ — 1,0; MgSO₄ — 0,2; FeSO₄ — 0,01; NH₄Cl — 0,1; C₂H₅OH — 5,0, рН = 7,6...7,8.

Питательную среду разливали в качалочные колбы по 100 мл, стерилизовали при давлении 1, 2 атм в течение 30 минут, затем инокулировали ее образцами донно-иловой воды, отобранными в исследуемых створах реки Карагайлы (см. рисунок). Инкубацию микроорганизмов проводили на термостатированной качалке при постоянной температуре 30 °С при 180 об/мин., количество инокулята 1 мл, объем среды 100 мл.

Выделение и получение чистых культур литотрофных микроорганизмов

Выделение *Thiobacillus thioparus* проводилось на селективной среде Бейеринка следующего состава, г/л: Na₂S₂O₃ · 5 H₂O — 5,0; NH₄Cl — 0,1; NaHCO₃ — 1,0; Na₂HPO₄ · 2H₂O — 0,2; MgCl₂ · 6H₂O — 0,1; FeSO₄ · 7H₂O — следы; водопроводная вода — 1 л.

Накопительную культуру получали путем заражения среды Бейеринка при рН = 7,0...9,0 анализируе-



Расположение точек отбора проб воды и донных отложений реки Карагайлы:

т. 1 — фоновый створ; т. 2 — створ влияния потоков шахтных и подотвальных вод; т. 3' — верхний бьеф пруда; т. 3 — нижний бьеф пруда; т. 4 — 50 м ниже сброса МКК; т. 5—6 — ниже выпусков промышленных предприятий г. Сибая; т. 7—11 — район хвостохранилища и дамбы; т. 12, 13 — устье реки Карагайлы; МКК — молочно-консервный комбинат; БОС — биологические очистные сооружения; СОФ — Сибайская обогатительная фабрика

мым материалом. Наличие тионовых бактерий в посевном материале определяли по появлению мути через 2...5 дней и образованию на поверхности среды пленки молекулярной серы, образующейся при окислении тиосульфата.

Выделение *Thiobacillus thiooxidans* проводили на селективной среде Ваксмана (г/л): $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ — 0,2; KH_2PO_4 — 3,0; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 0,5; $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ — 0,25; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — следы; сера в виде порошка (S^0) — 10,0; дистиллированная вода — 1 л; pH — 4,0. Для получения чистой культуры накопления жидкую питательную среду Ваксмана заражали анализируемым образцом. При наличии *Thiobacillus thiooxidans* в анализируемом образце через 3...10 дней в среде появляется муть, pH снижается до 1,0 и ниже, микроскопический контроль показывает наличие подвижных бактерий.

При выделении *Thiobacillus ferrooxidans* культуру накопления этого микроорганизма получали путем заражения питательной среды Летена испытываемым субстратом. Состав среды Летена, г/л: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ — 0,15; KCl — 0,05; KH_2PO_4 — 0,1; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 0,5; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ — 0,01.

Обсуждение результатов

Результаты исследований микробиологического состава и оценки содержания микроорганизмов в анализируемых образцах донных отложений представлены в таблице.

Из таблицы видно, что в створе (2), подверженном влиянию шахтных и подотвальных вод, содержание тионовых бактерий на два порядка превышает их среднее содержание в других створах, расположенных по течению реки вплоть до устья. Это говорит о том, что при прохождении через отвалы шахтная вода и образующиеся подотвальные воды в значительной степени обогащаются этой группой микроорганизмов, которые, попадая с дренажными стоками в малые реки, изменяют качество среды обитания гидробионтов.

Необходимо отметить, что в санитарно-гигиенических нормативных документах отсутствуют нормативы на содержание в речных водах тионовых бактерий. Однако с большой долей вероятности можно утверждать, что виды, местом обитания которых являются подотвальные воды, будут значительно более устойчивыми по сравнению с аборигенной микрофлорой.

Из представленных в таблице групп микроорганизмов более подробно были изучены сульфатовос-

Микробиологический состав и содержание микроорганизмов в анализируемых образцах донно-иловой воды реки Карагайлы

Исследуемые створы	Содержание бактерий, клеток/мл			
	Тионовых	Гетеротрофов	Углеводород окисляющих	Сульфат восстанавливающих
т. 1	Не обн.	$14,5 \cdot 10^5$	$3,1 \cdot 10^4$	Единичные
т. 2	$2,0 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^2$	$7,9 \cdot 10^3$
т. 3'	$1,8 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^6$	$4,1 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^3$
т. 3	$1,9 \cdot 10^2$	$4,4 \cdot 10^5$	$7,5 \cdot 10^2$	$6,4 \cdot 10^3$
т. 4	$2,4 \cdot 10^2$	$5,2 \cdot 10^5$	$6,3 \cdot 10^2$	$7,2 \cdot 10^2$
т. 6	$1,2 \cdot 10^2$	$3,1 \cdot 10^6$	$5,5 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^3$
т. 10	$1,1 \cdot 10^2$	$2,4 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^4$	$8,9 \cdot 10^3$
т. 13	$1,6 \cdot 10^2$	$9,2 \cdot 10^5$	$3,8 \cdot 10^4$	$9,3 \cdot 10^3$

становливающие бактерии, выделенные из донных отложений реки Карагайлы. Их культивирование сопровождалось активным образованием сероводорода. Продуцирование сероводорода в лабораторных условиях достигало 30...50 мг/мл, что свидетельствует о сохранении активности СВБ, несмотря на совместное присутствие тионовых бактерий, являющихся их конкурентами и способных создавать кислую среду, неблагоприятную для роста и развития СВБ, в выделенном консорциуме микроорганизмов.

Полученные результаты микробиологических исследований показали, что в реке Карагайлы присутствуют микроорганизмы, принимающие участие в биогеохимическом цикле серы: тионовые бактерии и СВБ, которые могут изменять обстановку в водоеме в окислительную или восстановительную сторону. Каждый из процессов сопровождается выделением продуктов жизнедеятельности микроорганизмов: сероводорода или сульфат-ионов. Разнообразие специфической микробной флоры и продуктов ее жизнедеятельности при благоприятном сочетании факторов для развития той или иной группы микроорганизмов могут приводить к снижению общего разнообразия микробной флоры водотока в связи с выделением токсических продуктов обмена. В результате этого может наблюдаться полное исчезновение микроорганизмов, принимающих непосредственное участие в самоочищении водотока, влияющих на гидрохимические показатели воды, формирующих благоприятную для них среду обитания.

Можно предположить, что в водотоках, подверженных влиянию подотвальных вод, процессы самоочищения будут заменены на процессы преобразования серосодержащих соединений, которые в свою очередь будут влиять на тесно связанные с этим процессы миграции и рассеяния тяжелых металлов в природных средах.

Условия существования реки Карагайлы зависят от поступления вод, обладающих низкими pH [5–7]. Наблюдение за изменением pH воды реки Карагайлы позволяет сделать вывод о том, что состояние "кислотного шока" (выброса сточных вод с очень высокой кислотностью, т. е. низким показателем pH) [8] является для нее нормой. В связи с этим, вероятно, в ней формируются микробные популяции, устойчивые к низкому показателю pH и высоким концентрациям тяжелых металлов, которые требуют дальнейших исследований, потому что могут быть использованы для решения экологических проблем.

Список литературы

1. Макаров Д. В. Теоретическое и экспериментальное обоснование химических превращений сульфидов в техногенных отходах и изучение влияния продуктов окисления минералов на их технологические свойства и окружающую среду. Диссертация на соискание уч. степени д-ра техн. наук. — Апатиты, 2006. — 345 с.
2. Исследование динамики химического загрязнения водных объектов, расположенных вблизи г. Карабаша, в ретроспективе ведения наблюдений ФГУ "Челябинский ЦГМС". — <http://www.chelpogoda.ru/pages/311.php>
3. Обухова О. В. Устойчивость микробных популяций к тяжелым металлам, как фактор опасности для гидроэкологической системы дельты Волги // Вестник Моск. гос. обл. университета. Сер. Естественные науки. — 2006. — № 1. — С. 95–97.



4. Гаев А. Я., Греков И. И. Предотвращение загрязнения геологической среды районов предприятий Учалинского ГОКа // Отчет. т. 1–3. Оренбург — 1982–1984. — 146 с.
5. Смирнова Т. П., Г. Ф. Шайдулина, В. И. Сафарова, Кутлиахметов А. Н. Формирование сероводородных зон на малых реках—приемниках сточных вод горно-рудных предприятий (на примере малых рек Республики Башкортостан) // Безопасность жизнедеятельности. — 2012. — № 11. — С. 28–33.
6. Лысак В. В. Микробиология: Учебное пособие для студентов биологических специальностей. — Минск: БГУ, 2005. — 261 с.
7. Смирнова Т. П. Роль химико-биологических факторов в формировании экологического состояния малых рек в зоне влияния горнообогатительных комбинатов. Диссертация на соиск. уч. степени канд. хим. наук. Казань, 2009. — 147 с.
8. Фаухутдинов А. А., Сафарова В. И., Шайдулина Г. Ф., Смирнова Т. П. и др. Образование сульфидов в малых реках-реципиентах сточных вод горнообогатительных комбинатов // Безопасность жизнедеятельности. — 2007. — № 9. — С. 9–14.
9. Смирнова Т. П., Гатауллина Э. М., Сафарова В. И. Исследование микробиоценоза малой реки в зоне влияния крупного горно-обогатительного комбината // Тезисы V Международной научно-технической конференции "Наука, образование, производство в решении экологических проблем". — Уфа, 2008. — С. 124–128.
10. Моисеенко Т. И., Кудрявцева Л. П., Гашкина Н. А. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши. — М.: Наука, 2006. — 261 с.

РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ

УДК 661.17

Н. Г. Евдокимова, канд. техн. наук, доц., **Е. В. Комарова**, асс., **Е. В. Логинова**,
Э. И. Тимербаева, **Р. Р. Мурзабаева**, студенты,
Филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета
в г. Салавате
E-mail: ruskih1.r@yandex.ru

Ресурсосберегающая технология получения поверхностно-активных веществ из отходов производства полиэтилена

Представлены результаты исследований и предложена ресурсосберегающая технология переработки отходов производства полиэтилена низкого давления — полиэтиленового воска для получения поверхностно-активных веществ, которые могут быть использованы в качестве синтетических моющих средств технического назначения.

Ключевые слова: полиэтиленовый воск, термодеструкция, окисление, сульфатирование, поверхностно-активные вещества

Evdokimova N. G., Komarova E. V., Loginova E. V., Timerbaeva E. I., Murzabaeva R. R. Resource-Saving Technology of Surface-Active Substances from Waste Polyethylene

The article represents the results of the research and proposes resource-saving production technology of polyethylene waste processing — polyethylene wax for surfactants that can be used as synthetic detergents for industrial use.

Keywords: polyethylene wax, thermal destruction, oxidation, sulfation, surfactants

Химический и нефтехимический комплекс на сегодняшний день является базовым сегментом российской промышленности. Потребителями его продукции являются практически все отрасли промышленности, транспорта, сельского хозяйства, сфера услуг, торговля, наука, культура, образование и оборонный комплекс. Рост промышленности сопровождается увели-

чением количества отходов и побочных продуктов производства, которые не всегда находят достойное применение.

Одним из востребованных продуктов нефтехимии является полиэтилен, в частности полиэтилен низкого давления. При производстве этого вида продукции образуется полиэтиленовый воск (ПВ) — побочный продукт полимеризации полиэтилена. Это недополимеризованная до нужной молекулярной массы часть реакционной смеси, которая отводится с установки и отгоняется от растворителя.

В настоящее время ПВ используется в производстве свечей, кремов, парафинировании бумаги и картона, производстве масел и смазок, производстве суперконцентратов для окрашивания пластмасс, производстве кабелей, монтавосков. Окислением полиэтиленовых восков получают окисленные полиэтиленовые воски с различной молекулярной массой, твердостью и кислотным числом, которые используются как процессинговая смазка для переработки ПВХ [1].

В ОАО "Газпром нефтехим Салават", где производится полиэтилен низкого давления, ПВ в основном складировается на предприятии, не находя применения. Поэтому целью исследования была выбрана разработка ресурсосберегающей технологии переработки полиэтиленового воска в востребованные на самом предприятии продукты или реагенты.

Анализ направлений переработки полиэтиленового воска в товарную продукцию показал, что наиболее приемлемо в ОАО "Газпром нефтехим Салават" из воска получать поверхностно-активные вещества (ПАВ). Эти ве-

Таблица 1

Свойства полиэтиленового воска

Наименование показателя	Значение
Температура каплепадения, °С	80...190
Плотность при 20 °С, кг/м ³	960...980
Максимальная длина цепи атомов углерода	35...45
Массовая доля летучих веществ, % не более	3
Динамическая вязкость при 140 °С, мПа·с	50...2000

щества можно использовать в качестве технического моющего средства, эмульгатора, пенообразователя, которые в настоящее время закупаются предприятием. Для получения эффективных синтетических моющих средств большое значение имеют алкилсульфаты, которые получают, в частности, на основе высокомолекулярных первичных спиртов. В настоящее время накоплен достаточный опыт получения различных видов ПАВ из разнообразного сырья. Однако очень мало данных по использованию в качестве сырья отходов или побочных продуктов химических и нефтехимических производств. Среди анионоактивных ПАВ наиболее распространенными являются алкилбензолсульфонаты, или сульфенолы, алкилсульфонаты, получаемые в процессе сульфатирования линейных алкильных полимеров, к которым можно отнести и ПВ [2—6].

Полиэтиленовый воск предлагается переработать в анионоактивные ПАВ по схеме, которая включает деструкцию ПВ, получение синтетических жирных спиртов и их сульфатирование с целью получения алкилсульфатов.

В исследовании в качестве первичного сырья для синтеза ПАВ использовался полиэтиленовый воск со свойствами, представленными в табл. 1, в которой приведены средние показатели свойств восков из разных партий производства полиэтилена низкого давления в ОАО "Газпром нефтехим Салават".

Поскольку молекулярная масса поверхностно-активных веществ существенно ниже молекулярной массы исходного ПВ, первым этапом работы стало исследование процесса высокотемпературной деструкции при температурах выше 400 °С, сопровождающегося реакциями крекинга [2—4] с целью понижения молекулярной массы исходного сырья. Так как термодеструкция не позволяет получить кислородсодержащие соединения (спирты), основной целью исследований стал выбор

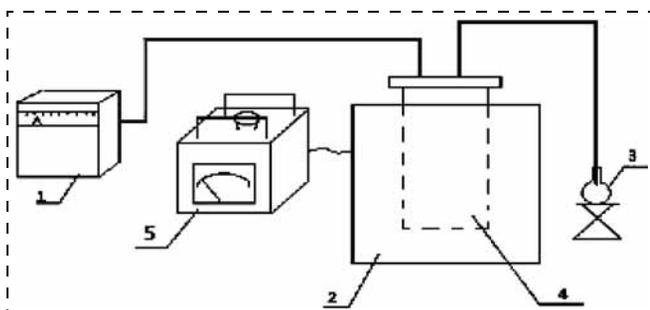


Рис. 1. Схема лабораторной установки термодеструкции ПВ: 1 — преобразователь температуры КСП; 2 — печь; 3 — колба-приемник; 4 — реактор; 5 — лабораторный трансформатор

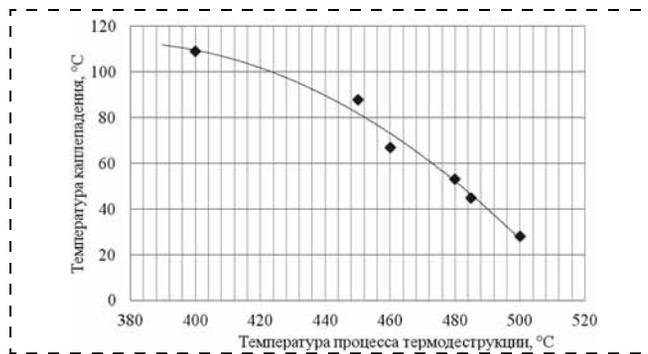


Рис. 2. Зависимость температуры каплепадения ПВТД от температуры процесса термодеструкции

оптимальной температуры деструкции полимера и определения температурного диапазона проведения процесса [2].

Процесс проводили на лабораторной установке, представленной на рис. 1. Сырье (100 % ПВ) загружали в реактор, который помещали в печь. Температуру печи регулировали с помощью лабораторного трансформатора. Контроль температуры осуществляли с помощью преобразователя температуры. С верха реактора по отводной трубке отводился продукт термодеструкции в колбу-приемник. Для изучения кинетики процесса производили отборы проб при различных температурах термодеструкции.

В результате процесса термодеструкции полиэтиленового воска получен термодеструктурированный полиэтиленовый воск (92,99 %) и газ (7,01 %).

Для оценки степени деструкции были использованы различные методы исследования свойств термодеструктурированного полиэтиленового воска (ПВТД), перечисленные ниже.

1. Определяли температуру каплепадения [7], так как этот показатель характеризует температуру плавления высокомолекулярных соединений и может косвенно характеризовать молекулярную массу полученного продукта. Метод определения температуры каплепадения является нетрудоемким и быстрым, что облегчает проведение исследований. Зависимость температуры каплепадения от температуры процесса термодеструкции ПВ представлена на рис. 2.

2. На основании справочных данных о зависимости температуры плавления от молекулярной массы углеводородов алканового ряда можно косвенно судить о молекулярной массе полученных образцов [10]. Зависимость молекулярной массы ПВТД от температуры процесса термодеструкции представлена на рис. 3.

3. Определяли кинематическую вязкость [8] как критерий снижения молекулярной массы в процессе термодеструкции. Исследуемые образцы растворяли в растворителе — дизельном топливе при температуре 80 °С. Для сравнения результатов исследований использовали коэффициент относительной вязкости (отношение вязкости растворов ПВ в дизельном топливе к вязкости дизельного топлива, которая составляла 3,84 мм²/с). Результаты исследований представлены на рис. 4.

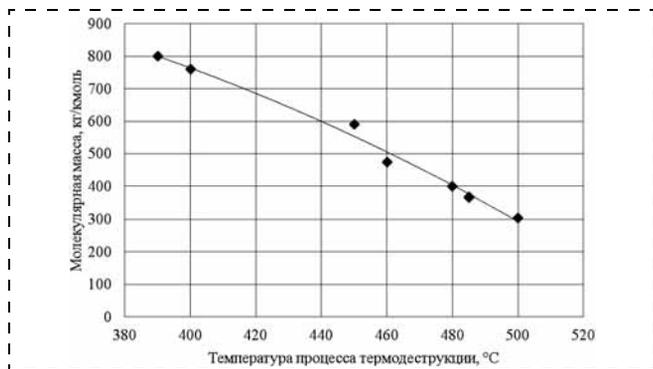


Рис. 3. Зависимость молекулярной массы ПВД от температуры процесса термодеструкции

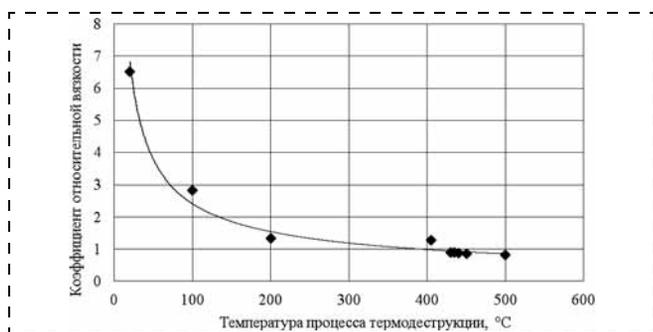


Рис. 4. Зависимость коэффициента относительной вязкости ПВД от температуры процесса термодеструкции

Анализ результатов исследований свойств ПВД, представленных на рис. 2—4, позволяет сделать вывод об эффективности использования процесса термодеструкции ПВ для снижения его молекулярной массы. Так, с увеличением температуры процесса термодеструкции происходит интенсивное снижение температуры каплепадения ПВ, и как следствие, снижение его молекулярной массы.

Анализ зависимостей показывает, что при высокотемпературной деструкции происходит разрыв углеродных связей. Молекулярная масса по сравнению с исходным ПВ уменьшилась в 2,7 раз и составила примерно 300 кг/кмоль, что соответствует углеводородам с 16...20 атомами углерода, которые можно использовать в качестве сырья для синтеза ПАВ.

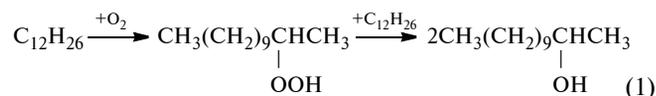
Зависимость значений относительной кинематической вязкости от температуры процесса термодеструкции также показывает, что с увеличением температуры снижается и молекулярная масса ПВ.

Таким образом, для получения сырья из ПВ для синтеза ПАВ необходимо проводить процесс термодеструкции при температуре выше 400 °C, что позволит получить сырье с требуемой молекулярной массой. Установлено, что наиболее целесообразно проводить процесс термодеструкции при температуре 480...500 °C.

Следующим этапом работы стало проведение процесса каталитического окисления полученных образцов ПВД с целью получения спиртов. Известен способ [4, 5] окислительной переработки высших парафинов в спирты — термическое окисление в жидкой фазе в присутствии

борной кислоты для синтеза высших вторичных спиртов (C₁₀—C₂₀). Также известно, что в процессе получения алкилсульфатов, описанном Олдхамом и Ворсом, в качестве сырья используется парафин или длинноцепочечные циклопарафины [3, 5, 9, 10]. При взаимодействии с кислородом в присутствии катализатора они превращаются в гидроперекиси. В отсутствие катализатора образующиеся гидроперекиси алкилов не превращаются в кетоны, а реагируя с парафинами, образуют спирты. Таким образом, при окислении почти не происходит разрыва углеродных цепей, и образующиеся спирты, среди которых преобладают вторичные, содержат то же число атомов углерода, что и исходные углеводороды [3, 5, 9, 11].

При окислении ПВД с целью получения спиртов для защиты целевого продукта от дальнейших окислительных превращений использовали блокировку гидроксильных групп образующихся спиртов путем связывания их борной кислотой по уравнениям реакции:



Предполагается, что борная кислота оказывает также каталитическое действие. Для предотвращения деструкции ПВД в процессе окисления в качестве окислителя использовали газ с пониженной концентрацией кислорода. Окисление проводили при 165 °C в присутствии 5 %-ной борной кислоты азото-кислородной смесью с содержанием кислорода 3...4,5 об. %. При этом выход спиртов составил 40...50 %.

При изучении процесса жидкофазного окисления в присутствии борной кислоты установлено, что при окислении образуются вторичные спирты преимущественно с тем же числом углеродных атомов, что и в исходных углеводородах. Полученные в результате окисления образцы были исследованы на содержание эфиров. Эфирное число определяли методом титрования [12].

Зависимость эфирного числа в окисленных образцах ПВД от времени окисления представлены на рис. 5, на котором показано, что при проведении окисления в

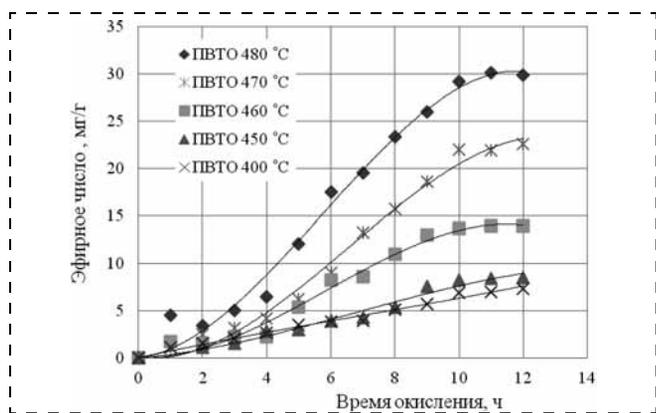
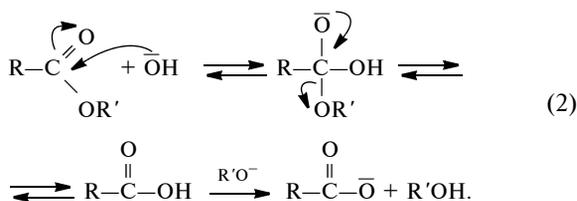


Рис. 5. Зависимость эфирного числа окисленного термодеструктивированного полиэтиленового воска (ПВТО) от времени окисления

присутствии борной кислоты происходит образование эфиров борной кислоты, и с увеличением времени окисления заметен рост содержания их в образцах. При окислении более 10 ч рост содержания эфиров в окисленных образцах ПВТД происходит незначительно.

Образцы, полученные в результате окисления, подвергали гидролизу. Гидролиз сложных эфиров — важная реакция этой группы веществ. Гидролиз под действием воды — обратимая реакция. Для смещения равновесия в направлении образования спиртов использовали щелочь. Щелочной гидролиз сложных эфиров необратим, поскольку он приводит к образованию спирта и соли кислоты. Поэтому для проведения полного гидролиза в смесь вводили щелочь, которая нейтрализует кислоту и делает процесс необратимым. Гидролиз сложных эфиров в щелочной среде называют омылением. Он проходит по следующему механизму:



Для полученных вторичных спиртов определили гидроксильное число, характеризующее содержание спиртовых групп [13]. Результаты исследований представлены в табл. 2. Как видно из таблицы, при увеличении времени окисления ПВТД до 10 ч происходит значительное увеличение гидроксильного числа продуктов окисления до 9 мг_{КОН}/г. Результаты исследований процесса получения спиртов из ПВТД показали, что для достижения наибольшего значения гидроксильного числа следует проводить процесс высокотемпературной деструкции при 480 °С с последующим окислением ПВТД в течение 10 ч.

Для сульфатирования полученных высокомолекулярных спиртов применяется серная кислота с концентрацией от 98 % и выше [9]. Была выбрана 98 %-ная серная кислота. При расчете количества серной кислоты, необходимой для синтеза алкилсульфатов, использовали значения гидроксильного числа. Нейтрализацию полученных алкилсульфатов проводили 20 %-ным раствором гидроксида натрия до получения нейтральной сре-

Таблица 2

Содержание гидроксильных групп в окисленных образцах термодеструктированного полиэтиленового воска до и после гидролиза

Исходное сырье — ПВТО	Содержание гидроксильных групп в окисленном образце (гидроксильное число), мг _{КОН} /г	
	До гидролиза	После гидролиза
ПВТО 400 °С	0,97	3,62
ПВТО 450 °С	1,80	6,04
ПВТО 460 °С	3,80	7,25
ПВТО 470 °С	4,21	7,85
ПВТО 480 °С	4,63	9,06

Таблица 3
Поверхностное натяжение алкилсульфатов, полученных на основе окисленного ПВТД

Сырье сульфатирования — ПВТО	Поверхностное натяжение $\sigma_0 \cdot 10^{-3}$, Н/м	Поверхностное натяжение $\sigma \cdot 10^{-3}$, Н/м
ПВТО 400 °С	28,53	26,34
ПВТО 450 °С		21,95
ПВТО 460 °С		19,75
ПВТО 470 °С		15,36
ПВТО 480 °С		13,17

ды (рН = 7). Температура процесса была выбрана выше температуры плавления окисленного ПВТД на 10 °С.

Полученные продукты были проанализированы на поверхностное натяжение по методу максимального давления пузырька [14]. Расчет поверхностного натяжения (Н/м) производили по формуле:

$$\sigma = \sigma_0 \frac{\Delta h}{\Delta h_0}, \quad (3)$$

где Δh_0 и Δh — разности уровней манометрической жидкости для стандартной и испытуемой жидкости; σ_0 — поверхностное натяжение растворителя, Н/м.

В табл. 3 представлены значения поверхностного натяжения сульфатированных образцов ПВТО, показывающие, что полученные образцы сульфатированного ПВТО эффективно снижают поверхностное натяжение раствора, т. е. синтезированные продукты обладают поверхностно активными свойствами и являются ПАВ. Наибольшее снижение значения поверхностного натяжения показали образцы, полученные при использовании в качестве сырья ПВТД при температуре 480 °С и последующем его окислении в течение 10 ч.

Для исследования эмульгирующих свойств полученных алкилсульфатов были приготовлены водомасляные эмульсии в соотношении 1:1. В приготовленные эмульсии вводили полученные алкилсульфаты в количестве 0,5...2,0 % масс. Перемешивание эмульсии осуществляли электромешалкой с частотой вращения 90 мин⁻¹ в течение 20 мин и определяли время полного расслаивания эмульсии. На рис. 6 показаны зависимости относительного времени расслаивания водомасляной эмульсии с использованием в качестве эмульгаторов полученных алкилсульфатов.

Показано, что при использовании полученных алкилсульфатов происходит значительное увеличение времени расслаивания водомасляной эмульсии, что говорит о достаточно хороших эмульгирующих свойствах полученных продуктов.

Результаты исследования:

— отработана методика термической деструкции полиэтиленового воска с целью снижения его молекулярной массы;

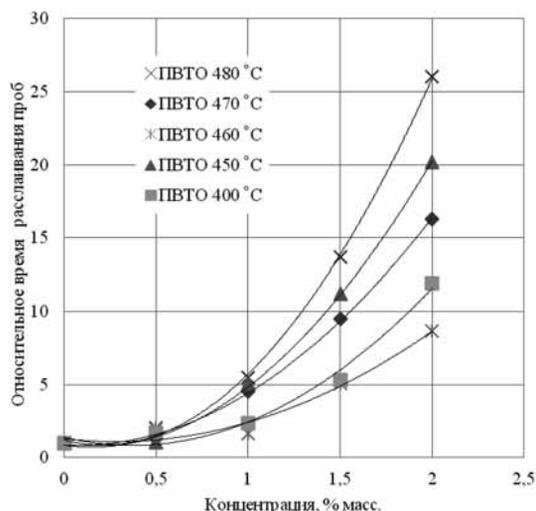


Рис. 6. Относительное время расщепления водомасляных эмульсий с использованием в качестве эмульгаторов полученных алкилсульфатов

— установлено, что для получения сырья для синтеза ПАВ из полиэтиленового воска необходимо проводить термодеструкцию при температуре 470...480 °С с последующим окислением полученного продукта до вторичных спиртов с использованием катализатора — борной кислоты;

— методом сульфатирования окисленного термодеструктированного полиэтиленового воска получены анионоактивные ПАВ — алкилсульфаты, которые обладают явно выраженными поверхностно-активными свойствами и являются высокомолекулярными ПАВ;

— с целью утилизации отходов производства полиэтилена низкого давления ОАО "Газпром нефтехим Салават" — полиэтиленового воска разработана технология получения ПАВ, которые могут быть использованы в качестве синтетических моющих средств технического назначения;

— при производстве алкилсульфатов из полиэтиленового воска себестоимость 1 т продукции составит

64 651,46 руб./т, рентабельность производства — 74,15 %, рентабельность продукции — 85,60 %, а срок окупаемости — 1,27 года.

Уникальность технологии заключается в решении одновременно двух задач: утилизации отходов производства полиэтилена низкого давления и получения новых продуктов, которые могут быть эффективно использованы на самом предприятии или реализовываться другим потребителям.

Список литературы

1. Браун Д., Шердрон Г., Керн В. Практическое руководство по синтезу и исследованию свойств полимеров: пер. с нем; под ред. д. х. н. В. П. Зубова. — М.: Химия, 1976. — 256 с.
2. Коршак В. В. Химия и технология синтетических высокомолекулярных соединений // Собр. соч.: В 9 т. — М.: Химия, 1967. Т. 9. — 946 с.
3. Волков В. А. Поверхностно-активные вещества. Синтез и свойства. Часть 1. Синтез и свойства поверхностно-активных веществ. — Электронная книга. Режим доступа: <http://nashaucheba.ru/v37778/>
4. Деструкция полимеров [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://plastinfo.ru>
5. Ковалев В. М., Петренко Д. С. Технология производства синтетических моющих средств. — М.: Химия, 1992. — 272 с.
6. Кондауров Б. П. Общая химическая технология: Учеб. пособие для студентов ВУЗов. — М.: Изд. центр "Академия", 2005. — 336 с.
7. ГОСТ 6793—74 Нефтепродукты. Метод определения температуры каплепадения.
8. ГОСТ 33—2000 Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости.
9. Одабашан Г. В., Швец В. Ф. Лабораторный практикум по химии и технологии основного органического и нефтехимического синтеза: Учеб. пособие для ВУЗов. — 2-е изд., переработ. и доп. — М.: Химия, 1992. — 240 с.
10. Метран [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.metran.ru/>
11. Петров Н. А. Синтез анионных и катионных ПАВ для применения в нефтяной промышленности: Учеб. пособие. — Уфа: УГНТУ, 2008. — 54 с.
12. ГОСТ 26549—85 Спирты высшие жирные. Метод определения числа омыления и эфирного числа.
13. ГОСТ 23018—90 Спирты синтетические жирные первичные. Метод определения гидроксильного числа.
14. Методы определения поверхностного натяжения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.stu.li.petsk.ru>

Учредитель ООО "Издательство "Новые технологии""

Журнал выходит при содействии Учебно-методического совета "Техносферная безопасность" Учебно-методического объединения вузов по университетскому политехническому образованию и Научно-методического совета "Безопасность жизнедеятельности" Министерства образования и науки Российской Федерации

ООО "Издательство "Новые технологии". 107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Телефон редакции журнала (499) 269-5397, тел./факс (499) 269-5510, e-mail: bjd@novtex.ru, <http://novtex.ru/bjd>

Телефон главного редактора (812) 670-9376(55), e-mail: rusak-maneb@mail.ru

Дизайнер Т. Н. Погорелова.

Технический редактор Е. М. Патрушева. Корректор М. Г. Джавадян

Сдано в набор 02.09.13. Подписано в печать 10.10.13. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Заказ ВГ1113.

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-3762 от 20.06.2000.

Оригинал-макет ООО "Авансед солюшнз".

Отпечатано в ООО "Авансед солюшнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1.