



БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

11(143)
2012

Редакционный совет:

АКИМОВ В. А.
БАЛЫХИН Г. А.
БЕЛОВ С. В.
ГРИГОРЬЕВ С. Н.
ЗАЛИХАНОВ М. Ч.
(председатель)
КОТЕЛЬНИКОВ В. С.
ПАВЛИХИН Г. П.
СОКОЛОВ Э. М.
СОРОКИН Ю. Г.
ТЕТЕРИН И. М.
ТИШКОВ К. Н.
УШАКОВ И. Б.
ФЕДОРОВ М. П.
ЧЕРЕШНЕВ В. А.
АНТОНОВ Б. И.
(директор издательства)

Главный редактор
РУСАК О. Н.

Зам. главного редактора
ПОЧТАРЕВА А. В.

Ответственный секретарь
ПРОНИН И. С.

Редакционная коллегия:

БЕЛИНСКИЙ С. О.
ИВАНОВ Н. И.
КАЛЕДИНА Н. О.
КАЧАНОВ С. А.
КАЧУРИН Н. М.
КЛЕЙМЕНОВ А. В.
КРАСНОГОРСКАЯ Н. Н.
КСЕНОФОНТОВ Б. С.
КУКУШКИН Ю. А.
МАЛАЯН К. Р.
МАСТРЮКОВ Б. С.
МИНЬКО В. М.
МИРМОВИЧ Э. Г.
ПАНАРИН В. М.
ПОЛАНДОВ Ю. Х.
ТОПОЛЬСКИЙ Н. Г.
ФРИДЛАНД С. В.
ХАБАРОВА Е. И.
ШВАРЦБУРГ Л. Э.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Красногорская Н. Н., Фашевская Т. Б., Янгирова Э. Р., Кочкина Е. Б. Оценка изменений климатических условий жизнедеятельности на территории Республики Башкортостан 2

МОНИТОРИНГ И ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Сафарова В. И., Кутляхметов А. Н., Вдовина И. В., Низамутдинова Н. Р. Оценка аэротехногенного загрязнения в зоне влияния горнодобывающего предприятия методом дендроиндикации 10

Сафаров А. М., Коноплева С. Н., Исачкина Л. Я., Сафарова А. М. Обоснование выбора предприятий и источников выбросов для оценки их влияния на качество атмосферного воздуха Южного промышленного узла Республики Башкортостан 14

Шаяхметов Р. З., Яковлев В. В. Безотходная технология очистки подземных вод от железистых и марганцовистых соединений (на примере Патраковского водозабора г. Нефтекамска Республики Башкортостан) 18

Красногорская Н. Н., Кутляхметов А. Н., Елизарьев А. Н., Ахтямов Р. Г., Куликова Д. В. Совершенствование системы очистки ливневого стока урбанизированной территории 22

Смирнова Т. П., Шайдулина Г. Ф., Сафарова В. И., Кутляхметов А. Н. Формирование сероводородных зон на малых реках-приемниках сточных вод горнорудных предприятий (на примере малых рек Республики Башкортостан) 28

Мухаматдинова А. Р., Сафаров А. М., Магасумова А. Т., Хатмуллина Р. М., Сафарова В. И., Климина И. П. Идентификация нефтепродуктов в объектах окружающей среды. 33

Галинуров И. Р., Сафаров А. М., Хатмуллина Р. М., Минигазимов Н. Р., Зиганшина Д. Х. Исследование способности почв к самоочищению от нефтяного загрязнения. 38

ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Красногорская Н. Н., Елизарьев А. Н., Хаертдинова Э. С., Бурцев Р. А. Способ защиты грунтовой плотины от размыва 44

Эйдмиллер Ю. Н., Прокина Д. Н., Яханов А. П. Пожаровзрывобезопасность предприятий хранения и переработки растительного сырья (на примере ОАО "Уфимский комбинат хлебопродуктов") 46

Аксенов С. Г. К вопросу о правовых основах добровольных формирований в обеспечении пожарной безопасности 51

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Асадуллина З. У., Яковлев В. В. Вовлечение отходов кровельных материалов в производство битума 53

Приложение. Учебно-методические аспекты обеспечения безопасности жизнедеятельности

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 5.502

Н. Н. Красногорская, д-р техн. наук, проф., **Т. Б. Фашевская**, канд. геогр. наук, доц.,
Э. Р. Янгирова, асп., **Е. Б. Кочкина**, студ.,
Уфимский государственный авиационный технический университет
E-mail: Luna_elya@mail.ru

Оценка изменений климатических условий жизнедеятельности на территории Республики Башкортостан

Проведен анализ динамики среднегодовой температуры воздуха и годового количества осадков за многолетний период на территории Республики Башкортостан. Выявлены региональные особенности глобального изменения климата, связанные с локальными физико-географическими факторами.

Ключевые слова: климат, жизнедеятельность человека, экологические системы, экстремальные погодные явления, среднегодовая температура воздуха, годовое количество осадков, статистическая однородность временных рядов, рельеф местности, залесенность территории, корреляционно-регрессионный анализ

Krasnogorskaya N. N., Fachshevskaya T. B., Yangirova E. R., Kochkina E. B. Evaluation of changes in the climatic conditions of vital activity on the territory of Republic of Bashkortostan

The analysis of dynamic of average annual air temperature and annual precipitation during a long-time period in the Republic of Bashkortostan were made. The regional features of global climate change due to local physical and geographical factors were identified.

Keywords: climate, human activity, ecological systems, extreme weather events, average annual air temperature, annual precipitation, the statistical homogeneity of time series, topography, forested area, correlation and regression analysis

Введение

В Климатической доктрине Российской Федерации (2009) отмечается, что "Изменение климата является одной из важнейших международных проблем XXI века, которая выходит за рамки научной проблемы и представляет собой комплексную междисциплинарную проблему, охватывающую экологические, экономические и социальные аспекты устойчивого развития Российской Федерации" [1].

Колебания климата и вызванные ими изменения в окружающей среде влияют на условия жизни, здоровье и на различные сферы деятельности

человека. Наиболее чувствительны к изменениям климата сектора экономики и объекты, непосредственно зависящие от природно-климатических условий: сельское и лесное хозяйство, водные объекты и системы водоснабжения, здания и инженерные сооружения, а также транспортная инфраструктура. Однако косвенно климатические изменения могут сказаться на работе почти всех отраслей экономики: функционировании тепловых электростанций, металлургических и нефтеперерабатывающих предприятий и т. д. [2].

Изменение климата также может оказывать многостороннее влияние на различные составляющие экологической системы планеты [3]. В настоящее время уже зафиксированы перемены в 420 физиологических процессах, биологических видах и популяциях [4].

Происходящее в настоящее время глобальное изменение климата выражается в постепенном повышении среднегодовой температуры воздуха начиная со второй половины XX века. Данные метеорологических наблюдений свидетельствуют о том, что за последние 100 лет средняя температура воздуха у поверхности Земли выросла на 0,74 °С, и темпы ее роста постепенно увеличиваются [5]. 1990-е гг. были самым теплым десятилетием, а 1998 г. — самым теплым годом за все время инструментальных наблюдений начиная с 1861 г. [6].

Повышение температуры воздуха в различных районах земного шара происходит неравномерно, а в некоторых районах (например, в Северной Атлантике или на юге США) наблюдается даже незначительное похолодание. Это является следствием различной отражательной способности океана, ледяного покрова и разных участков суши, неоднородности влагосодержания атмосферы над разными районами Земного шара, особенностей циркуляции океана и атмосферы, влияния многих других элементов климатической системы Земли [7].

В настоящее время также наблюдаются изменения в количестве атмосферных осадков и во влажности атмосферы. Установлено, что количество дождевых осадков на поверхности суши и океанов в тропиках возросло примерно на 0,2...0,3 %

в десятилетие в течение XX столетия [8]. Общее количество водяного пара в атмосфере над многими регионами северного полушария возрастало на несколько процентов в десятилетие [6].

Климатические изменения также проявляются в виде увеличения частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений (наводнений, засух, необычайных морозов и катастрофической жары, зимних оттепелей и летних заморозков и т. д.). Статистика показывает, что за период с 1960 г. число катастрофических погодных явлений и наводнений, наносящих странам большой экономический ущерб, выросло в 2 раза [9].

Изменение климата на территории России оказалось заметно больше глобального. Диапазон варьирования аномальных значений (разность между максимумом и минимумом) среднегодовой температуры в России за период 1936—2009 гг. достигает 3...4 °С, в то время как для Земного шара он лишь несколько превосходит 1 °С. Однако если сравнить оценки периода 1976—2006 гг. с оценками для конца XX века (1976—2000 гг.), то на территории России в целом обнаруживается тенденция к определенному уменьшению скорости потепления, тогда как в глобальном масштабе скорость потепления продолжает увеличиваться [10—12].

Глобальные климатические изменения имеют локальные особенности межгодовой и сезонной динамики температуры воздуха и количества осадков в различных регионах России. Наиболее интенсивное увеличение среднегодовых температур воздуха в период 1976—2009 гг. наблюдалось на Европейской части России (рис. 1), в Средней Сибири и в Прибайкалье — Забайкалье (около 0,52 °С/10 лет) [8].

Наибольшая скорость современного потепления отмечается в западных районах Европейской территории России и в Якутии (зимой), на юге

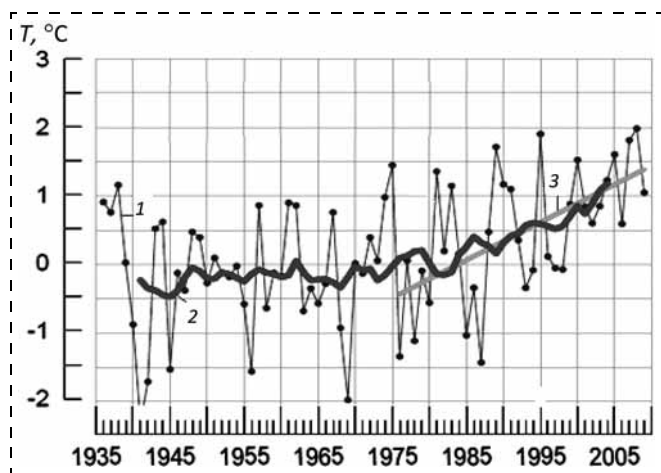


Рис. 1. Изменение среднегодовой температуры воздуха на территории Европейской части России в период 1935—2009 гг.:

1 — изменение среднегодовой температуры воздуха; 2 — сглаженная кривая, полученная 11-летним скользящим осреднением; 3 — линия тренда за период 1976—2009 гг. [21]

Красноярского края и в Предбайкалье (зимой и весной), на Чукотке и в Магаданской области (весной и осенью), наименьшая — в Западной Сибири, где тренд практически отсутствует во все сезоны, кроме весеннего. Тенденция к похолоданию на территории России сохраняется лишь в зимний период в северо-восточном регионе (Чукотка, Магаданская область, восточные районы Якутии) [10—13].

В целом для России отмечается тенденция к уменьшению годовых и сезонных сумм осадков в последние 50 лет, однако для европейской территории страны отмечается слабая тенденция к росту количества осадков [14, 15].

Объект исследования

Территория Республики Башкортостан (РБ) расположена в пределах Южного Урала и характеризуется многообразием природных условий.

Рельеф территории разнообразен по форме и сильно расчленен. Выделяют платформенную (равнинную) часть территории, занимающую 2/3 площади в западной и центральной частях, и Уральскую складчатую — горную область в восточной части. Высотные отметки территории варьируются от 60 м в устье р. Белой до 1640 м в горах (г. Ямантау).

Положение рассматриваемой территории в умеренном климатическом поясе и внутри огромного материка Евразия определяет резко континентальный характер климата, выражающийся в больших колебаниях температуры воздуха внутри года. Уральские горы затрудняют поступление западных воздушных масс, несущих влагу с Атлантического океана, в пределы Сибири, создавая тем самым благоприятные условия для выпадения осадков в Предуралье. Зимой морские воздушные массы приносят оттепели, летом — прохладу. Вторжения арктического воздуха летом и континентального воздуха из Сибири зимой вызывают резкое похолодание [16, 17].

Средняя годовая температура воздуха меняется по территории в значительных пределах: от 2,5...2,8 °С в южном и центральных районах Предуралья до 0,6 °С в горных районах [18, 19].

В направлении, противоположном повышению температуры, происходит увеличение годового количества осадков. Наибольшее количество осадков выпадает на высоких хребтах и склонах гор — до 750...800 мм и более, наименьшее на крайнем юге — 400...500 мм.

Многообразие природных условий привело к формированию на территории Республики Башкортостан пяти природных зон — лесной, лесостепной, степной, а также горно-лесной и горно-лесостепной [20].

В настоящее время в структуре земельного фонда региона преобладают земли сельскохозяйственного назначения, на долю которых приходится 54,1 % всех земель. Часть сельскохозяйственных земель нуждается в орошении. Доля земель лесного фонда составляет 37,5 % [21].



Климатические условия позволяют выращивать в регионе такие зерновые культуры, как пшеница, овес, рожь, ячмень. На значительной части посевных площадей выращивают технические культуры (сахарную свеклу, подсолнечник). Однако сельскохозяйственное производство в республике циклично подвергается сильной засухе. В 2010 г. из-за влияния засухи объем валовой продукции сельского хозяйства составил 67,4 % по отношению к предыдущему году [22]. К сожалению, и настоящий, 2012 г., также оказался засушливым.

Оценка изменений климатических условий на территории Республики Башкортостан проводилась по данным наблюдений за метеорологическими параметрами (температурой воздуха и количеством осадков) на 32 метеорологических станциях (МС), расположенных в различных частях региона, за период с 1936 по 2009 г. Расположение метеостанций на территории РБ приведено на рис. 2 (см. 4-ю стр. обложки).

Результаты исследования и их анализ

Для оценки изменений климатических условий жизнедеятельности на территории Республики Башкортостан проанализирована многолетняя динамика метеорологических параметров. Для выявления мно-

голетней динамики температуры воздуха T и количества осадков P построены графики изменения их годовых значений за период 1936–2009 гг. Для примера на рис. 3 приведены графики изменения среднегодовых значений температуры воздуха на метеостанциях (МС) Аксаково, Аскино, Зилаир и Мелеуз. Для наглядного представления о тенденции изменения величины на графики нанесены штриховые линии тренда.

Такая же тенденция увеличения среднегодовых значений температуры воздуха за исследуемый период наблюдается на остальных метеостанциях, несмотря на их расположение в различных частях РБ.

Данные многолетней динамики годового количества осадков свидетельствуют об увеличении его значений на 27 метеостанциях и о незначительном уменьшении на метеостанциях в селах В. Яркеево, Учалы, Федоровка, Кананикольское и Бакалы.

Для подтверждения установленных тенденций изменения метеорологических величин за исследуемый период проведен анализ статистической однородности временных рядов значений среднегодовой температуры воздуха и годового количества осадков. Анализ проводился в два этапа: графически и с помощью критериев, подтверждающих

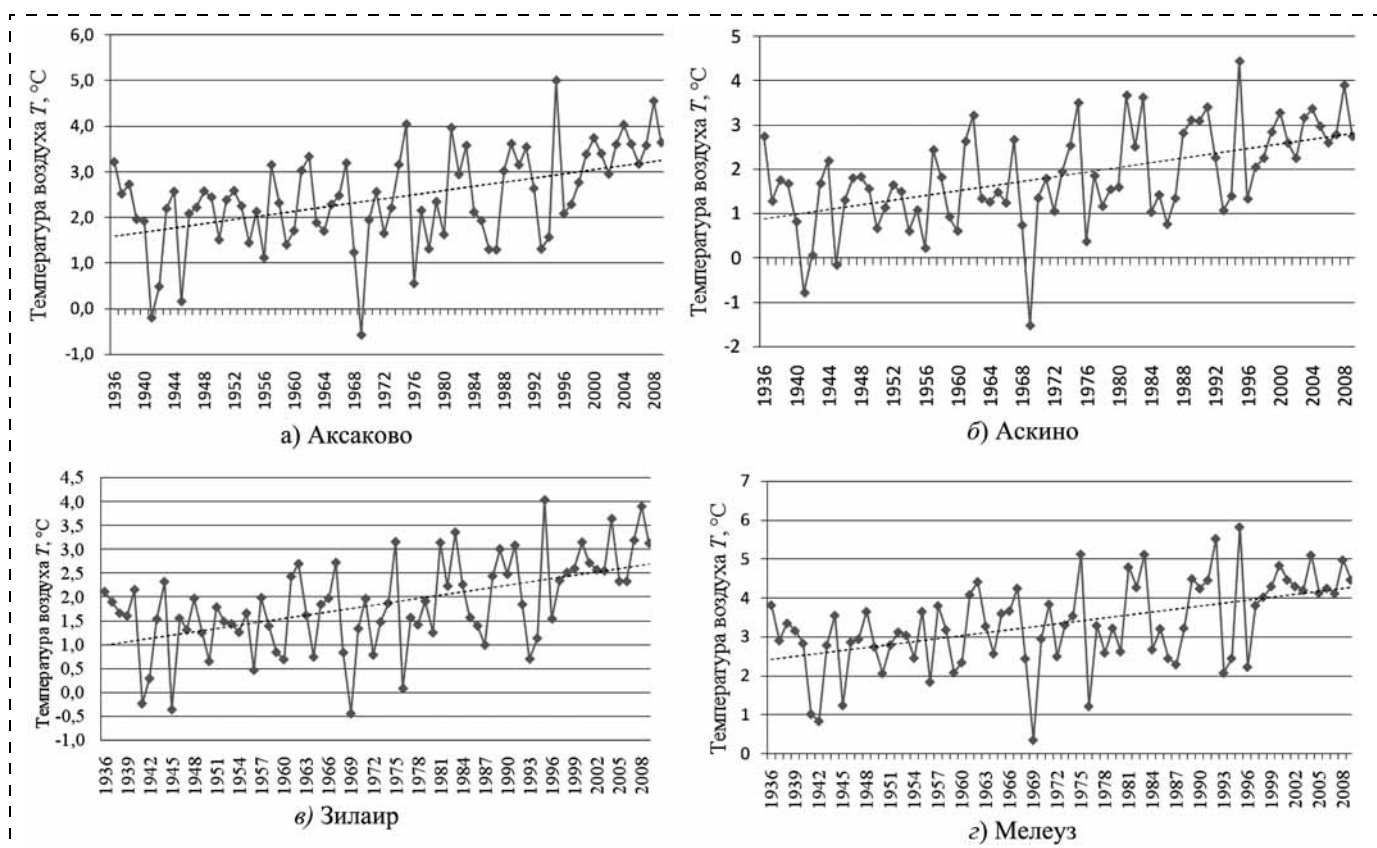


Рис. 3. Многолетние изменения среднегодовых значений температуры воздуха T на метеостанциях Аксаково (а), Аскино (б), Зилаир (в) и Мелеуз (г)

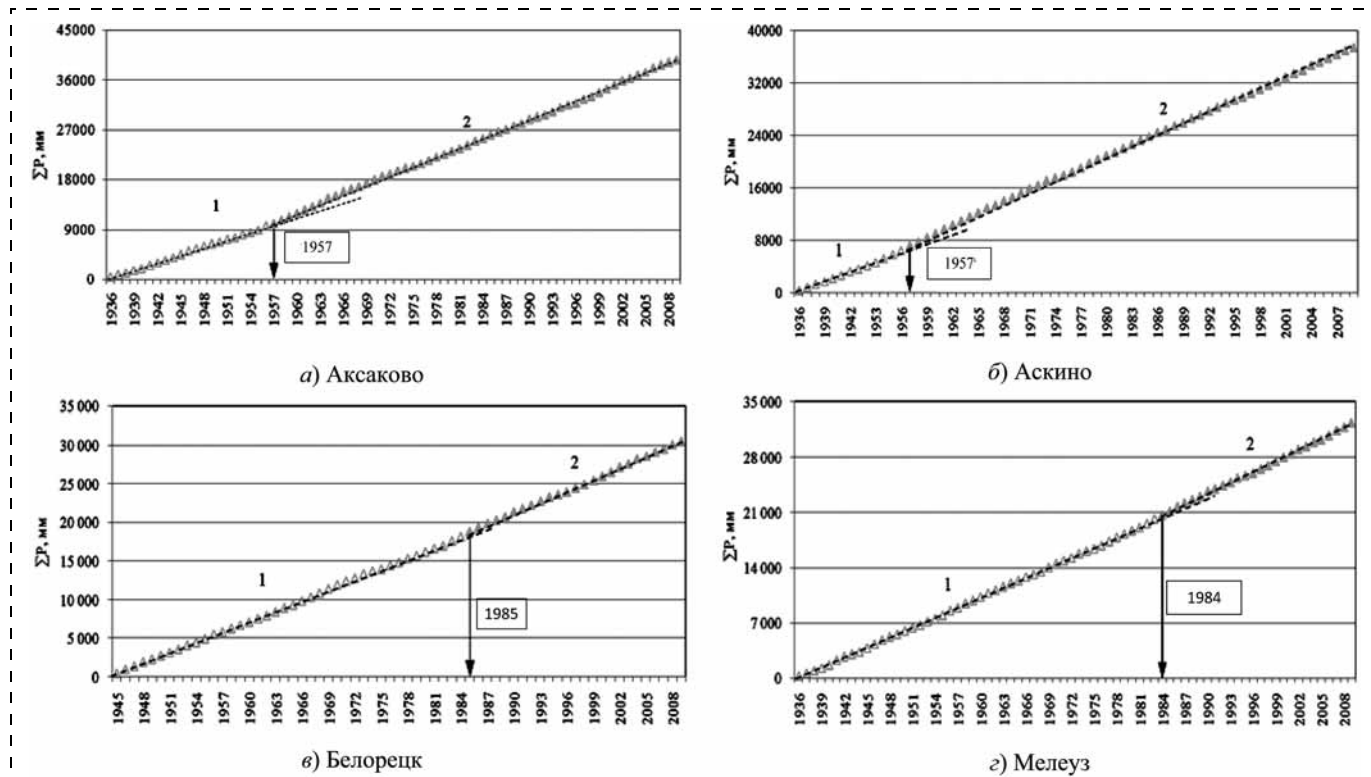


Рис. 4. Изменение набегаящей суммы годового количества осадков P на метеостанциях Аксаково (а), Аскино (б), Белорецк (в) и Мелеуз (з); отрезками показаны прямолинейные участки суммарных кривых; цифры 1, 2 — номера временных периодов статистической однородности рядов, указаны годы нарушения однородности

существенность нарушения статистической однородности рядов [19, 20].

Для проведения графического анализа рассчитывалась набегаящая сумма значений среднегодовой температуры ΣT и годового количества осадков ΣP . По рассчитанным данным построены графики суммарных кривых вида $\Sigma T = f(t)$ и $\Sigma P = f(t)$, где в качестве функции рассматривались среднегодовые значения температуры воздуха T и годового количества осадков P , нарастающие в зависимости от времени t .

Из полученных графиков видно, что отклонение суммарных кривых от прямых усредняющих линий, свидетельствующее о статистической неоднородности значений среднегодовой температуры воздуха, происходит на всех метеостанциях, а значений годового количества осадков — лишь на восемнадцати метеостанциях. Для примера на рис. 4 приведены графики изменения набегаящей суммы годового количества осадков P на четырех метеостанциях: разными маркерами обозначены прямолинейные участки суммарных кривых. Из рис. 4 видно, что отклонение суммарных кривых годового количества осадков от прямых усредняющих линий происходит один раз на каждой метеостанции: в 1957 г. — на метеостанциях Аксаково и Аскино, в 1985 г. — на метеостанции Белорецк, в 1984 г. — Мелеуз.

Для подтверждения достоверности графически установленного нарушения статистической однородности рядов метеорологических величин проведен анализ существенности установленного нарушения по критериям Фишера (F), Стьюдента (St) и Вилькоксона (U) при уровне значимости 5 % (доверительный уровень 95 %). Для примера в табл. 1 приведены результаты оценки статистической однородности рядов среднегодовых значений температуры воздуха и годового количества осадков на некоторых метеостанциях.

Из данных табл. 1 видно, что на неоднородность рядов годовых значений метеорологических параметров (на метеостанциях Аксаково, Аскино, Мелеуз) в течение каждого из двух смежных временных периодов указали два критерия из трех: вычисленные значения St оказались больше табулированных критических значений St_{α} , значения U не попали в промежутки между граничными значениями: нижним U_1 и верхним U_2 . Неоднородность вторых двух смежных временных рядов среднегодовых значений температуры воздуха на метеостанции Зилаир и годового количества осадков на метеостанции Белорецк не подтверждена ни одним из статистических критериев.

Таким образом, на основе проведенного анализа выделены статистически неоднородные временные периоды, в пределах каждого из которых можно по-



Таблица 1

Результаты оценки статистической однородности рядов метеорологических параметров по разным критериям

Период	Величина метеорологического параметра	Критерий Фишера		Критерий Стьюдента		Критерий Вилкоксона		
		F	F_a	St	St_a	U	U_1	U_2
СРЕДНЕГОДОВАЯ ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА, °С								
МС Аксаково								
1936—1993	2,3	1,22	1,75	4,4	2,0	167	315	613
1994—2009	3,3							
Оценка:		Однородно		Неоднородно		Неоднородно		
МС Аскино								
1936—1980	1,4	1,0	1,9	5,2	2,0	1048	476	830
1981—2009	2,6							
Оценка:		Однородно		Неоднородно		Неоднородно		
МС Зилаир								
1936—1980	1,4	1,3	1,9	3,9	1,9	689	312	588
1981—2000	2,3							
Оценка:		Однородно		Неоднородно		Неоднородно		
1981—2000	2,3	2,3	2,9	1,9	2,0	52	48	132
2001—2009	2,9							
Оценка:		Однородно		Однородно		Однородно		
МС Мелеуз								
1936—1986	3,0	1,0	1,8	4,1	2,0	910	419	754
1987—2009	4,1							
Оценка:		Однородно		Неоднородно		Неоднородно		
ГОДОВОЕ КОЛИЧЕСТВО ОСАДКОВ, мм								
МС Аксаково								
1936—1956	457	1,4	1,8	4,3	2,0	894	393	720
1957—2009	567							
Оценка:		Однородно		Неоднородно		Неоднородно		
МС Аскино								
1936—1956	493	1,2	1,8	3,4	2,0	536	223	466
1957—2009	585							
Оценка:		Однородно		Неоднородно		Неоднородно		
МС Белорецк								
1945—1984	454	1,4	2,0	1,6	2,0	622	355	645
1985—2009	491							
Оценка:		Однородно		Однородно		Однородно		
МС Мелеуз								
1936—1983	422	1,2	1,8	2,1	2,0	429	451	797
1984—2009	466							
Оценка:		Однородно		Неоднородно		Неоднородно		

лучить достоверные усредненные количественные оценки метеорологических величин. На рис. 5 и 6 графически интерпретированы подтвержденные с помощью статистических критериев временные границы периодов, в пределах которых временные ряды среднегодовой температуры воздуха и годового количества осадков статистически однородны.

Из рис. 5 видно, что на всех метеостанциях выделено либо два, либо три периода статистической однородности временных рядов среднегодовой температуры воздуха, указывающих на поэтапное увеличение ее значений. Раньше всего (в 1960 г.) отклонения в среднегодовой динамике температуры воздуха произошли на метеостанциях Акъяр и

Дуван, которые находятся по обе стороны Уральских гор (в зонах барьерной тени и барьерного подножия). На остальных метеостанциях изменения температуры воздуха проходят в период с 1979 по 1998 г. Позднее всего (в 2001 г.) среднегодовая температура воздуха начала повышаться на метеостанции Кумертау, которая находится на равнинной местности.

На метеостанциях Дуван (с 1988 г.) и Мраково, Стерлитамак, Акъяр, Белорецк (с начала 2000-х гг.) наблюдается третий период изменения среднегодовой температуры воздуха, или вторая "волна потепления". Все перечисленные метеостанции на-

ходятся в восточной, более холмистой и гористой части республики.

Таким образом, установлено, что время начала изменения температуры воздуха на территории РБ различно в зависимости от того, в какой местности находится та или иная метеорологическая станция. В восточной, более возвышенной части республики, повышение среднегодовой температуры воздуха происходит раньше, чем там, где преобладают равнинные или пологоволнистые формы рельефа.

Из рис. 6 видно, что лишь на 15 метеостанциях, расположенных в различных природно-ландшафтных зонах, установлены статистически значимые различия в многолетних рядах годовых сумм осадков. По результатам анализа для каждой метеостанции выделено по два периода статистической неоднородности временных рядов годового количества осадков. Самые ранние изменения годовых сумм осадков, свидетельствующие об их увеличении, наблюдаются в период с 1955 по 1965 г. на метеостанциях Уфа-Дема, с. Аксаково, с. Аскино, г. Бирск, пос. Чишмы и с. Янаул. Позднее в период с 1979 по 1991 г. увеличение годового количества осадков отмечается на других метеостанциях. На метеостанции Стерлитамак изменения наблюдаются позднее всего — с 1998 г.

На остальных 17 метеостанциях тенденция изменения годовой суммы осадков либо не выявлена графически, либо не подтвердилась статистическими критериями, поэтому среднее многолетнее значение метеорологического параметра репрезентативно за весь период наблюдения.

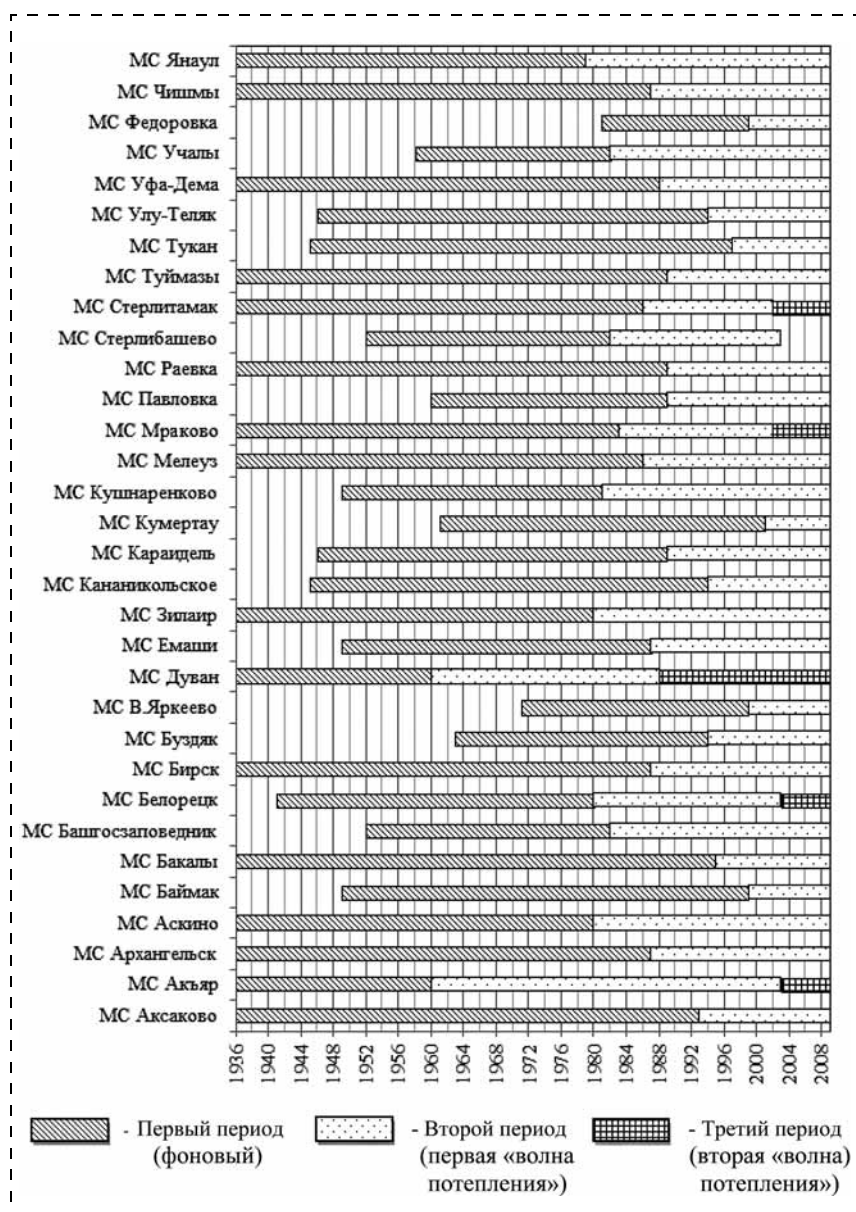


Рис. 5. Периоды статистической однородности временных рядов среднегодовых температуры воздуха T на территории Республики Башкортостан

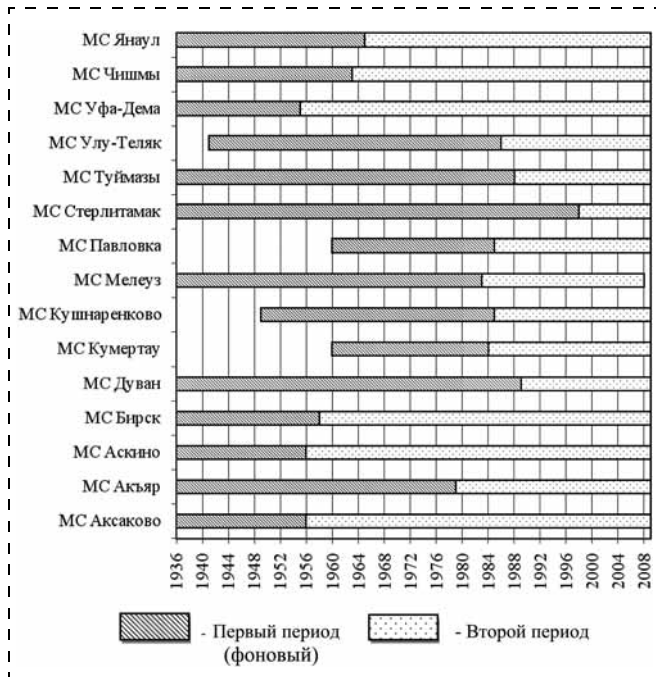


Рис. 6. Периоды статистической однородности временных рядов годового количества осадков P в Республике Башкортостан

Для выявления интенсивности динамики климатических условий проведена оценка изменения среднегодовых температур воздуха ΔT и годового количества осадков ΔP в последний статистически однородный временной период относительно первого (фондового) на рассматриваемых метеостанциях. На рис. 7 приведены сравнительные диаграммы интенсивности изменения исследуемых метеорологических параметров.

Из рис. 7, а видно, что увеличение температуры воздуха (ΔT) к 2009 г. варьируется в диапазоне 21...1000 %. Наибольшее увеличение в период 1983—2009 гг. по сравнению с периодом 1952—1982 гг. произошло на метеостанции Башгосзаповедник. Наименьшее изменение температуры воздуха наблюдается на метеостанции с. Федоровка, в котором температура воздуха в период 2000—2009 гг. увеличилась на 21 % по сравнению с периодом 1981—1999 гг.

Из рисунка 7, б видно, что увеличение годовой суммы осадков ΔP на исследуемых метеостанциях варьируется в диапазоне 10...32 %. Наибольшее увеличение годовых сумм осадков произошло в г. Уфе (метеостанция Уфа-Демя), наименьшее — на метеостанциях Мелеуз и Павловка.

Для выявления влияния локальных физико-географических факторов на изменение метеорологических параметров на территории РБ проведен корреляционно-регрессионный анализ зависимостей между характеристикой рельефа местности в окрестностях метеостанции (высотой метеостанции над уровнем моря), степенью по-

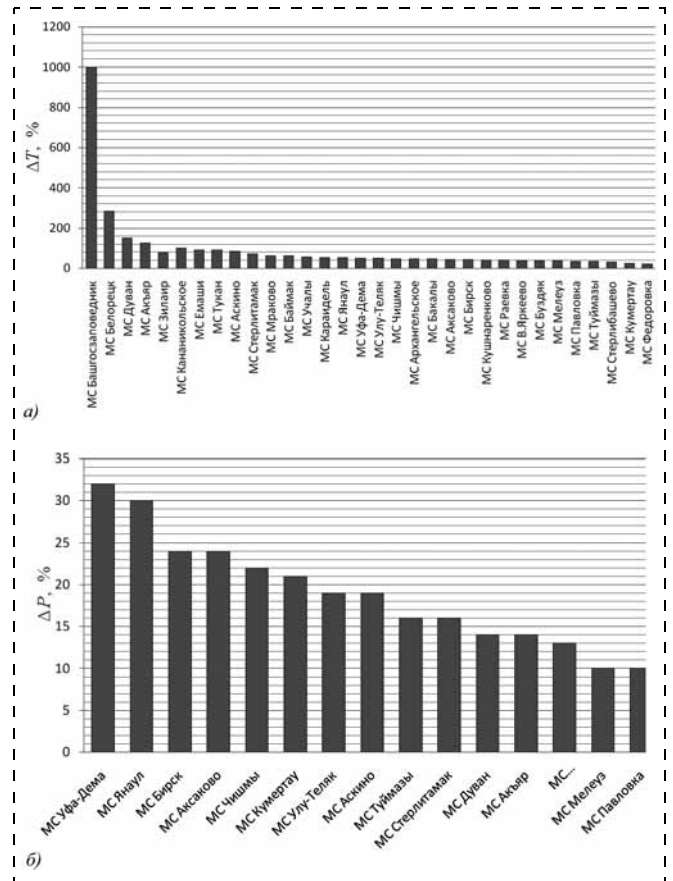


Рис. 7. Увеличение значений метеорологических параметров на исследуемых метеостанциях к 2009 г.:

а — среднегодовая температура воздуха; б — годовое количество осадков

крытия территории растительностью (залесенностью) и показателями динамики климата:

- временем начала изменения метеорологического параметра D , определенного как количество лет от начала измерения температуры воздуха D_T или годового количества осадков D_P до наступления переломного года (года нарушения статистической однородности);

- величиной изменения метеорологического параметра Δ : среднегодовой температуры воздуха ΔT и годового количества осадков ΔP .

Результаты проведенного анализа приведены в табл. 2. Как видно, существует заметная [22] связь между увеличением среднегодовой температуры воздуха и физико-географическими условиями территории (рельефом местности и степенью залесенности). Связь между остальными исследуемыми параметрами умеренная, слабая или отсутствует.

Выводы

В период 1936—2009 гг. на всей территории Республики Башкортостан произошло повышение среднегодовой температуры воздуха на 0,7...2,0 °C

Характеристики связей показателей динамики климата на территории РБ с физико-географическими факторами

Показатель динамики климата Y	Уравнения связи с физико-географическими факторами/достоверность аппроксимации, R			
	Высота над уровнем моря, м, X_1	Характеристика связи [22]	Залесенность территории, %, X_2	Характеристика связи [22]
ΔT , %	$\frac{Y = 0,17X_1 + 21,4}{0,52}$	Заметная	$\frac{Y = 0,17X_2 + 25,3}{0,54}$	Заметная
D_T , годы	$\frac{Y = -0,04X_1 + 56,4}{0,48}$	Умеренная	$\frac{Y = 0,06X_2 + 39,1}{0,12}$	Слабая
ΔP , %	$\frac{Y = -0,02X_1 + 22,9}{0,28}$	Слабая	$\frac{Y = -0,17X_2 + 15,2}{0,37}$	Умеренная
D_P , годы	$R < 0,1$	Связь отсутствует	$\frac{Y = -0,13X_2 + 38,7}{0,16}$	Слабая

(что составляет 21...1000 % в относительном выражении) и на 15 метеорологических станциях увеличение годового количества осадков на 10... 32 %. На 17 метеостанциях тенденция изменения годовой суммы осадков не выявлена.

Наибольшее увеличение среднегодовой температуры воздуха произошло на участках территории с холмистым или горным рельефом, имеющих большую степень залесенности (заметная зависимость). Обратная, но слабая или умеренная зависимость от аналогичных физико-географических факторов характерна для изменения годовых сумм осадков.

Повышение среднегодовой температуры воздуха происходит раньше в восточной, более возвышенной части республики (с 1960 г.), чем там, где преобладают равнинные или пологоволнистые формы рельефа (в период с 1979 до конца 1990-х гг.). С начала 2000-х гг. в горной местности отмечается "вторая волна" повышения среднегодовой температуры воздуха.

Зависимость между временем начала изменения количества осадков и физико-географическими особенностями территории отсутствует. Увеличение годового количества осадков на 15 метеорологических станциях, расположенных в различных природно-ландшафтных зонах, отмечается либо в период с 1955 по 1965 г., либо в период с 1979 по 1998 г.

Список литературы

1. Президент России [Электронный ресурс] / Климатическая доктрина Российской Федерации (утв. распоряжением Президента РФ от 17 декабря 2009 г. № 861-пп) — URL: <http://text.document.kremlin.ru/SESSION/PILOT/main.htm> (Дата обращения: 28.05.2012).
2. Россия и сопредельные страны: природоохранные, экономические и социальные последствия изменения климата. WWF России, Oxfam. — М., 2008. — 64 с.
3. Моргунов В. К. Основы метеорологии, климатологии. Метеорологические приборы и методы наблюдений: Уч. пособие. — Новосибирск: Сибирское соглашение, 2005. — 331 с.
4. Изменение климата: Техническое резюме доклада МГЭИК. — 2001. — 109 с.
5. 10 самых популярных заблуждений о глобальном потеплении и Киотском протоколе: Резюме доклада РРЭЦ. — М.: РРЭЦ, 2010. — 16 с.

6. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории РФ: Техническое резюме. — М.: НИЦ "Планета", 2008. — 29 с.
7. Сафонов Г. В. Опасные последствия глобального изменения климата: Учебное пособие. — М.: РРЭЦ, GOF, WWW России, 2006. — 20 с.
8. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2010 год: Отчет Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). — М.: Росгидромет, 2011. — 66 с.
9. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2007 год: Отчет Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). — М.: Росгидромет, 2008. — 35 с.
10. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2009 год: Отчет Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). — М.: Росгидромет, 2010. — 75 с.
11. Панова М. Л. Обзор возможного влияния изменения климатических факторов на сельское хозяйство на территории южных районов западной Сибири: Учебное пособие. — Саратов: СГТУ, 2009. — 13 с.
12. Груза Г. В., Ранькова Э. Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. 2004. — № 4. С. 50—66.
13. Новороцкий П. В. Многолетние изменения температуры воздуха и атмосферных осадков в бассейне Нижнего Амура // Метеорология и гидрология. — 2004. — № 5. — 55—62 с.
14. Гареев А. М. Реки и озера Башкортостана. — Уфа, Китап, 2001. — 260 с.
15. Уразаева Ф. Х. Экологическая оценка водных ресурсов Урала и Приуралья: Монография. — Стерлитамак: Стерлитамак. гос. пед. ин-т, 1997. — 84 с.
16. Республика Башкортостан [Электронный ресурс] / Климат. — URL: <http://www.uralgeo.net/klimatba.htm> (Дата обращения: 06.06.2011).
17. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Башкортостан в 2008 году. — Уфа: Башкирское издательство, 2009. — 217 с.
18. Министерство экономического развития Республики Башкортостан [Электронный ресурс] / Агропромышленный комплекс. — URL: [http://minecon.bashkortostan.ru/netcat_files/File/agropom_%20kompleks\(1\).pdf](http://minecon.bashkortostan.ru/netcat_files/File/agropom_%20kompleks(1).pdf) (Дата обращения: 20.05.2012).
19. Компьютерная программа по расчету статистических характеристик и оценке однородности временных рядов. — URL: www.geodigital.ru/soft_hydr.jsp (Дата обращения: 11.10.2010).
20. On the Statistical Analysis of Series of Observation. / R. sneyers (ed.). — Geneva: WMO, Technical Note, 1990. — 143 p.
21. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2009 год: Отчет Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). — М.: Росгидромет, 2010. — 75 с.
22. Weisberg S. Applied linear regression. — Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2005. — 330 p.

УДК 504.3.054 + 504.732

В. И. Сафарова¹, д-р хим. наук, **А. Н. Кутлиахметов**², канд. геогр. наук, доц.,
И. В. Вдовина³, канд. техн. наук, **Н. Р. Низамутдинова**¹

¹ Управление государственного аналитического контроля, г. Уфа

² Башкирский государственный университет, г. Уфа

³ Уфимский государственный авиационный технический университет
E-mail: elizariev@mail.ru

Оценка аэротехногенного загрязнения в зоне влияния горнодобывающего предприятия методом дендроиндикации

Приведены результаты исследования рассеивания тяжелых металлов в зоне влияния крупного горно-обогатительного комбината при помощи метода дендроиндикации с использованием в качестве тест-объекта березы бородавчатой.

Ключевые слова: тяжелые металлы, дендроиндикация, горно-обогатительный комбинат, береза бородавчатая

Safarova V. I., Kutliakhmetov A. N., Vdovina I. V., Nizamutdinova N. R. Aero-technogenic pollution assessment by dendro-indication in mining enterprise influence zone

*Results of heavy metals dispersion research in an area of large mountain-concentrating industrial complex influence by means of a dendroindication with use as test-object *Betula verrucosa* are discussed.*

Keywords: heavy metals, dendroindication, mountain-concentrating industrial complex, *betula verrucosa*

Введение

Изучение закономерностей рассеивания тяжелых металлов имеет большое значение с точки зрения санитарной оценки территории, прилегающей к горно-обогатительному комбинату. Ведь, как правило, такие крупные промышленные предприятия являются градообразующими. Одним из методов контроля и определения ареала рассеивания загрязняющих веществ является дендроиндикация, т. е. оценка состояния окружающей среды посредством анализа образцов высшей древесной растительности.

Необходимость контроля за состоянием растительности на территориях, испытывающих длительную техногенную нагрузку, также связана со

способностью растений усваивать и накапливать в той или иной мере различные химические элементы, поглощая их из воздуха, почвы и воды. Характер и степень накопления токсикантов растениями зависит от множества факторов: разновидности химических элементов, видов растительности, физико-химических и агрохимических свойств среды, в которой произрастает данный вид, а также других, менее существенных, факторов. Имеется ряд работ, посвященных исследованию накопления тяжелых металлов растениями в лабораторных и природных условиях. В частности, установлено, что в окрестностях предприятий металлургической и горно-рудной промышленности растения (в том числе сельскохозяйственные) аккумулируют тяжелые металлы, которыми загрязнена территория.

Выбор растений в качестве тест-объектов для оценки воздействия источников загрязнения на окружающую среду является очень важным этапом, обуславливающим результативность исследований. Основными требованиями к растительным тест-объектам являются чувствительность к негативным факторам техногенного воздействия и их повсеместное распространение на обследуемой территории. Чаще всего для этих целей используются мхи, лишайники, грибы, луговые травы, являющиеся концентраторами токсикантов, из высших растений — хвойные, проявляющие высокую чувствительность к загрязнению атмосферного воздуха оксидами серы и азота, почв и подземных вод тяжелыми металлами.

Известны несколько путей поступления химических элементов и соединений в растение, основными из которых являются корневое питание, газообмен, обменная адсорбция на поверхности листовой пластинки [1]. Сорбция листовыми пластинами пыли и аэрозолей, содержащих металлические частицы, зависит от размеров улавливающей поверхности. Пылезадержи-

вающие свойства растений были впервые исследованы в работах [2, 3]. Установлены различия в запылении листьев в зависимости от положения в кроне, характера, текстуры и возраста листовых пластин, их видовой принадлежности.

Твердые частицы располагаются на поверхности листьев очагами. При наличии волосков они скапливаются у их основания. Иногда пылинки покрывают замыкающие клетки устьиц и устьичные щели. Таким образом, поглощение металлов листьями из воздуха зависит как от свойств самих растений (размера и формы листовых пластин, густоты волосяного покрова листовой поверхности, степени покрытия листьев воском, архитектоники кроны и положения в ней листьев), так и от условий и характера загрязнений (размеров частиц пыли и содержания в ней водорастворимых металлов, температуры среды, степени освещенности) [4, 5].

Проникновение атмосферных загрязнений в листья определяется градиентом концентрации токсиканта между атмосферой и листом и ограничивается устьичным сопротивлением, шириной и целостностью кутикулы, гигроскопичностью и растворимостью токсикантов, избирательной проницаемостью протоплазмы для ионов загрязняющих веществ и скоростью их связывания в клетке [6].

Проникновение токсических веществ из почвы через корневую систему зависит от защитных свойств растений. Препятствием для отдельных микроэлементов является избирательная способность корневого поглощения [4]; фактором регулирования аккумуляции микроэлементов служит физиологический барьер поглощения [7].

Существует две группы растений: адаптированные к изменению концентраций химических элементов и неадаптированные к нему [8]. Одним из растений, отличающихся высокой устойчивостью к техногенному загрязнению, является береза.

Характеристика объекта исследования

Исследования проводились на территории одного из административных районов юго-восточной части Республики Башкортостан. Здесь расположен крупнейший горно-обоганительный комбинат по переработке медно-цинковых колчеданных руд. На территории, прилегающей к комбинату, сформировался административный центр с плотностью населения 710 чел/км².

В схеме агроклиматического районирования Российской Федерации изучаемая территория относится к Западно-Сибирской лесостепной провинции [9]. Самыми распространенными породами являются мелколиственные: береза, ольха, осина. Главным фактором широкого распространения березовых ле-

сов является антропогенный. Там, где человек оставил свой след на земле, а также на месте лесных пожаров береза встречается повсеместно. Кроме того, благодаря большой морозоустойчивости, малой требовательности к почвам, сильно разветвленной корневой системе береза явилась породой, способной быстро завоевать пространство за счет уменьшения площади хвойных лесов. Вторичные березняки располагаются по западным и северным, лучше увлажненным склонам, а также по логам на серых лесных почвах. Березовые леса составляют в настоящее время 70 % общей площади всех лесов данного района [10].

В качестве тест-объекта использовалась береза бородавчатая (*Betula verrucosa*). На анализ отбирались пробы листьев и веток березы, выросших за последний вегетационный период. Выбор для анализа этих частей растения обусловлен тем, что береза хорошо реагирует на изменение содержания тяжелых металлов в почвах, накапливая значительные концентрации в коре, затем в ветвях и в меньшей степени в листьях. Однако листья деревьев играют важную роль в формировании ареалов рассеяния токсичных элементов в лесных экосистемах. Листья задерживают на своей поверхности пыль, обогащенную тяжелыми металлами, препятствуя их распространению на дальние расстояния и способствуя частичному очищению атмосферного воздуха. При опадании листьев создаются повышенная нагрузка на почвенный покров под деревьями и, соответственно, повышенное поступление тяжелых металлов в почвенные горизонты. Поэтому исследование листьев березы было проведено также с целью оценки роли аэрогенного фактора в общем загрязнении растений и определения уровня системного загрязнения растений через корневую систему и устьица листьев.

Уровень техногенного воздействия на используемый тест-объект определялся путем сравнения содержания тяжелых металлов, обнаруженных в растениях, произрастающих в зоне влияния рассматриваемого промышленного предприятия, с фоновыми, найденными в растениях, отобранных в 30 км к юго-западу от предприятия. Критерием значимого воздействия принято трехкратное превышение фонового значения.

Материалы и методы

Отбор проб выбранного тест-объекта производился осенью (по окончании вегетационного периода) по радиальным направлениям от источника загрязнения (промплощадки комбината) к периферии с учетом розы ветров и расположения сельскохозяйственных объектов. Для оценки вклада механического пылевого загрязнения проведен анализ запыленных и отмытых образцов.



Растительные образцы отбирались путем срезания секатором. Отобранные пробы упаковывались в большие полиэтиленовые мешки и доставлялись в лабораторию.

Пробы, отобранные с целью изучения накопления рассматриваемых элементов в различных частях растения (листьях и ветках), по доставке в лабораторию были подготовлены к разделному анализу. Сушка всех растительных образцов производилась на воздухе в отдельном помещении с хорошей вентиляцией. Высушенные растения измельчались вручную.

Для определения тяжелых металлов в растительных образцах использовался метод атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе Shimadzu AA-6200. Предварительно проводилась пробоподготовка методом полной кислотной минерализации до влажных солей с использованием азотной, соляной, хлорной кислот и перекиси водорода в микроволновой системе пробоподготовки Mars-5. Определение ртути проводилось на приборе "Юлия-5К" с предварительной пробоподготовкой методом ультразвукового воздействия в кислой среде.

Обсуждение результатов

Основными индикаторными элементами зоны влияния комбината являются Cu, Zn, Fe, Mn, сопутствующими элементами-загрязнителями — Cd, As, Hg, контроль которых в объектах окружающей среды является важной экологической задачей.

Основные точки, в которых производился отбор проб, представлены в табл. 1.

Результаты определения данных элементов в указанных точках представлены в табл. 2. Дополнительно к данным таблицы установлено, что самая высокая запыленность листьев березы с максимальным содержанием всех элементов (за исключением Mn) наблюдается около дробильного отделения обогатительной фабрики (точка 2). Доля Cu, находящейся на листьях в составе пыли, равна 66 % от общего содержания ее в листе и на его поверхности, доля Zn — 40 %. Еще более значима в этой точке роль пылевых выпадений для веток: пылевое загрязнение веток Cu достигает 71 %, Zn — 60 %.

Таблица 1

Точка отбора	Описание
1	Под факелом обогатительной фабрики (ОФ), склад медного и цинкового концентратов
2	Дробильное отделение ОФ, вблизи места перегрузки руды в бункер
3	Промплощадка (ПП) предприятия, отвалы вскрышных пород с северной стороны хвостохранилища
4	1 км к северо-западу от ПП
5	1 км к северо-востоку от ПП
6	2,5 км к северо-востоку от ПП
7	5 км к северо-востоку от ПП
8	30 км к юго-западу от ПП (фоновая территория)

Загрязняющий эффект пылевых выпадений складывается из суммы веществ, попадающих в систему растения через устьица листьев, и механического пылевого налета на листовой пластинке или поверхности стебля. Для оценки вклада механического пылевого загрязнения проведен анализ запыленных и отмытых образцов растений (березовых веток и листьев). Для примера на рисунке приведены результаты анализа запыленных и отмытых образцов, отобранных у дробильного отделения ОФ (точка 2).

Ветки березы загрязнены Cu и Zn в значительно меньшей степени, чем листья. Соотношения между содержаниями Cu в ветках и в листьях составляет: под факелом обогатительной фабрики 1 : 1,7; у дробильного отделения — 1 : 2,2; на породных отвалах — 1 : 2; для Zn во всех трех пробах оно равно 1 : 2. Следует отметить, что на фоновой территории (точка 8) это соотношение носит противоположный характер: листья загрязнены Cu и Zn в меньшей степени, чем ветки (Cu — 1 : 0,7, Zn — 1 : 0,8).

Аналогичное распределение концентраций тяжелых металлов между листьями и ветками берез, растущих на промплощадке, установлено для Fe, Mn, As, Cd. Ртуть, в отличие от вышеперечисленных элементов, сконцентрирована в ветках, что позволяет предполагать, что преимущественный путь поступления этого элемента в организм растения — через корневую систему. Для берез, растущих на породных отвалах, аэрогенное загрязнение в наибольшей степени проявляется по Fe и Mn.

На фоновой территории Cu, Zn и Hg в большей степени сконцентрированы в ветках березы; Fe, Mn и As — в листьях; Cd присутствует в листьях и в ветках в одинаковой концентрации.

Как видно из табл. 2, растения, отобранные за пределами промплощадки комбината, загрязнены основными индикаторными элементами гораздо в меньшей степени, чем на промплощадке. Диапазоны варьирования концентраций тяжелых металлов в запыленных листьях и ветках березы, отобранных вне промплощадки (в единицах кратности к фону), представлены в табл. 3.

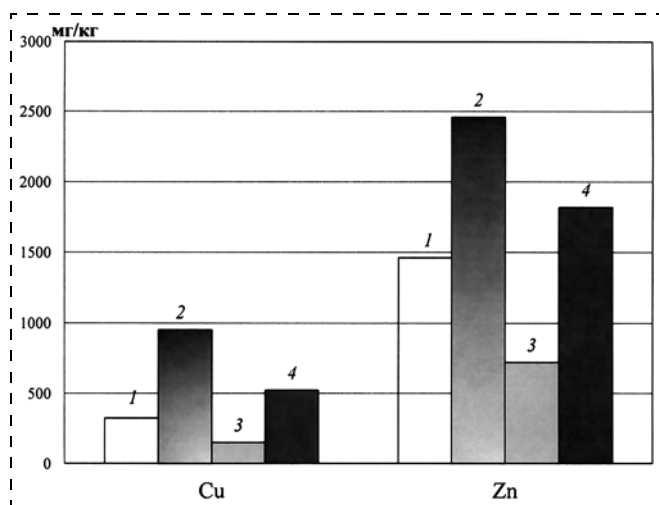
Уровень загрязнения и характер распределения загрязняющих веществ между ветками и листьями березы зависит от природы элемента и местоположения точки отбора.

В пределах 1-километровой зоны воздействия комбината изучены два участка, расположенные с северо-западной (точка 4) и северо-восточной (точка 5) стороны промплощадки. По северо-восточному направлению в пробах веток и листьев берез выявлен наиболее высокий уровень присутствия Cu и Hg, в парковой зоне города (северо-западное направление) — Fe и Zn. В целом растения на участке, расположенном на северо-востоке, загрязнены в большей степени, чем на северо-западе.

Определяемые тяжелые металлы	Часть растения	Содержание тяжелых металлов в точках отбора, мг/кг							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Медь	Листья березы	77,0	324,0	24,0	11,6	21,2	14,2	12,6	5,0
	Ветки березы	38,0	148,0	12,9	7,9	10,9	10,7	7,7	7,3
Цинк	Листья березы	1120,0	2459,0	416,0	455,0	362,0	310,0	257,0	104,0
	Ветки березы	518,0	1820,0	205,0	267,0	190,0	200,0	300,0	126,0
Железо	Листья березы	998,0	3125,0	1000,0	528,0	418,0	422,0	364,0	224,0
	Ветки березы	400,0	1820,0	297,0	284,0	194,0	175,0	198,0	186,0
Марганец	Листья березы	3336,0	715,0	1040,0	128,0	1050,0	809,0	1140,0	238,0
	Ветки березы	360,0	123,0	134,0	30,0	194,0	221,0	146,0	53,0
Кадмий	Листья березы	0,71	5,60	0,41	0,10	0,25	0,20	0,30	0,04
	Ветки березы	0,49	3,49	0,32	0,13	0,20	0,23	0,34	0,04
Мышьяк	Листья березы	3,6	10,7	2,0	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
	Ветки березы	1,2	4,8	1,2	0,3	0,7	0,7	0,6	0,3
Ртуть	Листья березы	0,009	0,007	0,073	0,001	0,022	0,009	0,021	0,008
	Ветки березы	0,046	0,536	0,071	0,003	0,029	0,011	0,043	0,011

По мере удаления от промплощадки комбината на северо-восток (точка б) в растениях наблюдается несколько иная картина перераспределения тяжелых металлов между листьями и ветками. В листьях снижаются концентрации Cu, Zn, Mn, Cd, Hg и незначительно увеличивается содержание Fe. В ветках происходит снижение концентраций Cu, Fe, Hg и прирост концентрации Mn.

Вклад аэрогенной составляющей в общее загрязнение растений тяжелыми металлами изменяется в зависимости от расположения точки контроля относительно промплощадки. Максимальное пылевое загрязнение растений наблюдается на участке в пределах 1 км к северо-востоку от пром-



Сравнительное накопление меди и цинка в чистых и загрязненных растительных образцах:

1 — листья чистые; 2 — листья загрязненные; 3 — ветки чистые; 4 — ветки загрязненные

Таблица 3

Загрязнитель	Листья	Ветки
Cu	1,14...6,74	1,4...1,9
Zn	0,65...4,1	1,0...2,4
Fe	1,13...2,4	0,94...1,5
Mn	0,5...4,8	0,6...4,2
Cd	2,5...7,8	3,2...8,5
Pb	3,4...7,0	10,7...12,7
Hg	1,1...2,8	1,0...4,7
As	0,8...1,0	0,7...2,3

площадки, снежный и почвенный покров которого были также значительно загрязнены тяжелыми металлами. Для листьев берез, произрастающих на этом участке (в % от общего загрязнения), оно составляет: Cu — 37, Fe — 18, Cd — 16, Hg — 86, As — 20; для веток — Fe — 50, Mn — 37, Hg — 44, As — 14. Следует отметить, что уровень загрязнения отобранных на этом участке березовых веток и листьев цинком не зависит от их запыленности. Содержание цинка в чистых и запыленных образцах одинаково, что можно объяснить или отсутствием цинка в составе пылевых выпадений, или тем, что в состав пыли включены, в основном, водорастворимые формы этого элемента.

Исследование загрязненности листьев и веток березы на территории, прилегающей к горно-обогательному комбинату, позволило ориентировочно определить границы рассеивания тяжелых металлов на север и северо-восток. В северном направлении на расстоянии 8 км от комбината Cu, Zn, Fe, Mn, As обнаруживаются в растениях в фоновых концентрациях, концентрации Cd и Hg на таком расстоянии превышают фон в 3—10 раз. Протяженность ареала распространения растений, загрязненных тяжелыми металлами, на северо-восток выходит за пределы 5 км.



Вывод

Оценка аэрогенного фактора в общем загрязнении растений показала, что в наибольшей степени он проявляется на промплощадке комбината около дробильного отделения. Аэрогенное загрязнение растений, растущих за пределами промплощадки, для разных элементов проявляется по-разному. Максимальный вклад аэрогенной составляющей в загрязнение растений Cu, Fe, Cd, Pb, Hg, As наблюдается на расстоянии 1 км от промплощадки, Zn — в 5 км. Установлены ориентировочные границы рассеивания тяжелых металлов: в северном направлении по Si, Zn, Fe, Mn, As, Cr, Ni, Co — до 8 км, по Cd, Pb и As — далее 8 км; в северо-восточном направлении — по всем обнаруженным элементам далее 5 км.

Список литературы

1. Черненко Т. В., Степанов А. М. Общая экология. Природопользование. Воздействие тяжелых металлов на растения: Курс лекций. — М.: Изд-во МИСиС, 2001. — 138 с.
2. Ефимов М. Ф. Влияние пыли на рост растений // Ботанический журнал. — 1959. — Т. 44. — № 6. — С. 822—824.

3. Ярославцев Г. Д. Пылезащитные свойства некоторых древесных пород // Изв. АН Туркм. ССР. — 1954. — № 5. — С. 40—51.
4. Тарабрин В. П. Устойчивость древесных растений в условиях промышленного загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами // Взаимодействие между лесными экосистемами и загрязнителями. Тезисы 1-го советско-американского симпозиума по проекту 02.03-21. — Таллинн, 1982. — С. 24—27.
5. Тарчевский В. В. Влияние дымо-газовых выделений промышленных предприятий Урала на растительность // Растения и промышленная среда. — Свердловск: Издательство Уральского Государственного университета им. А. М. Горького, 1964. — С. 5—71.
6. Дончева А. В., Казакова Л. К., Калуцков В. Н. Ландшафтная индикация загрязнения природной среды. — М.: Экология, 1992. — 255 с.
7. Heinrichs H., Mayer R. Distribution and cycling of major and trace elements in two Central European forest ecosystems // J. Env. Qual. — 1977. — V. 6. — P. 402—407.
8. Петрунина Н. С. Морфоанатомические особенности растений, произрастающих на почвах, обогащенных тяжелыми металлами // Теоретические основы фотоиндикации. — Л.: Наука, 1971. — С. 142—148.
9. Шафигуллина Г. Т., Серавкин И. Б., Удачин В. Н. Экология Учалинской геотехнической системы. — Уфа: Гилем, 2009. — 236 с.
10. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2008 году.

УДК: 504.054:502.33

А. М. Сафаров, канд. техн. наук, Уфимский государственный нефтяной технический университет,

С. Н. Коноплева, Л. Я. Исачкина, Управление государственного аналитического контроля, г. Уфа,

А. М. Сафарова, Инженерно-технический центр ООО "Газпром трансгаз Уфа"

E-mail: hatmullina_rm@mail.ru

Обоснование выбора предприятий и источников выбросов для оценки их влияния на качество атмосферного воздуха Южного промышленного узла Республики Башкортостан

Обоснован выбор предприятий нефтехимического комплекса города Стерлитамака как основных источников выбросов в атмосферу. Определена необходимость создания системы мониторинга качества атмосферного воздуха.

Ключевые слова: предприятия нефтехимического комплекса, промышленные выбросы, система мониторинга атмосферного воздуха, загрязняющие вещества

Safarov A. M., Konopleva S. N., Isachkina L. Ya., Safarova A. M. *Substantiation of a choice of the enterprises and sources of emissions for an estimation of their influence on quality of atmospheric air of Southern industrial unit of Republic Bashkortostan*

The choice of the enterprises of a petrochemical complex of city of Sterlitamak as basic sources of emissions in an atmosphere is proved. Necessity of creation of system of monitoring of quality of atmospheric air is certain.

Keywords: enterprise of petrochemical complex, industrial emissions, atmospheric air monitoring system, pollutants

Введение

Важнейшей проблемой при оценке качества атмосферного воздуха является изучение закономерностей формирования состава токсичных компонентов атмосферы в регионах расположения крупнейших нефтехимических комплексов и возрастающие требования к снижению их влияния. Основным инструментом наблюдения за качеством окружающей среды служат системы мониторинга, при разработке которых необходимо выделить проблемные (крупные) источники техногенного воздействия.

На территории Республики Башкортостан (РБ) находится крупнейший в России комплекс химических, нефтехимических производств и предприятий теплоэнергетики. Основные производства по переработке нефти, химическому и нефтехимическому синтезу сосредоточены в г. Уфе и на территории Южного промышленного узла, включающего в себя предприятия городов Стерлитамак, Салават и Ишимбай.

Город Стерлитамак — центр Южного промышленного узла РБ, представляет собой территориально-производственный комплекс с высокоразвитой химической и нефтехимической промышленностью, где промышленная зона примыкает к черте города и проблема загрязнения атмосферного воздуха стоит очень остро. В городе успешно работают крупные предприятия топливно-энергетического комплекса, активно развивается машиностроение и строительная отрасль. Все эти предприятия являются основными источниками промышленных выбросов в атмосферу.

Негативное влияние предприятий нефтехимической отрасли на атмосферу в г. Стерлитамаке усугубляется тем, что город расположен в четвертой климатической зоне, где до 60 % дней в году регистрируются неблагоприятные метеорологические условия, а также значительным износом основных фондов промышленных предприятий химической и нефтехимической отрасли, доля которой составляет 30 %.

Экологическая безопасность в городах с высокой техногенной нагрузкой может быть обеспечена созданием системы управления качеством окружающей среды. Для этого необходимо знать вклад каждого источника негативного воздействия. Однако до настоящего времени вклад каждого из них в общую картину загрязнения атмосферного воздуха по городу и району недостаточно изучен.

Объекты и методы

Объектами исследования являлись промышленные выбросы крупных предприятий г. Стерлитамака и атмосферный воздух города.

Население г. Стерлитамака составляет 264,7 тыс. человек, площадь города — 100,05 км². Город

Таблица 1

Метеорологические и климатологические характеристики района исследования по данным наблюдений за 2004—2006 гг.

Метеорологические характеристики	Средние многолетние значения
Осадки, количество дней в году	206
Повторяемость приземных инверсий температуры, %	30
Повторяемость застоев воздуха, %	24
Повторяемость ветров со скоростью 0...1 м/с, %	18
Повторяемость приподнятых инверсий температуры, %	32
Повторяемость туманов, %	0,4
Температура самого холодного месяца, °С	-17,4
Температура самого жаркого месяца, °С	+20,4
Скорость ветра, м/с	4,6
Наиболее часто повторяющееся направление ветра	Южное

расположен на стыке степной зоны и предгорий Южного Урала и входит в зону высокого промышленного загрязнения атмосферы. Климат района расположения Южного промышленного узла континентальный. Гидрографическая сеть представлена пятью реками. В табл. 1 приведены основные метеорологические и климатологические характеристики г. Стерлитамака по данным за период с 2004 по 2006 г.

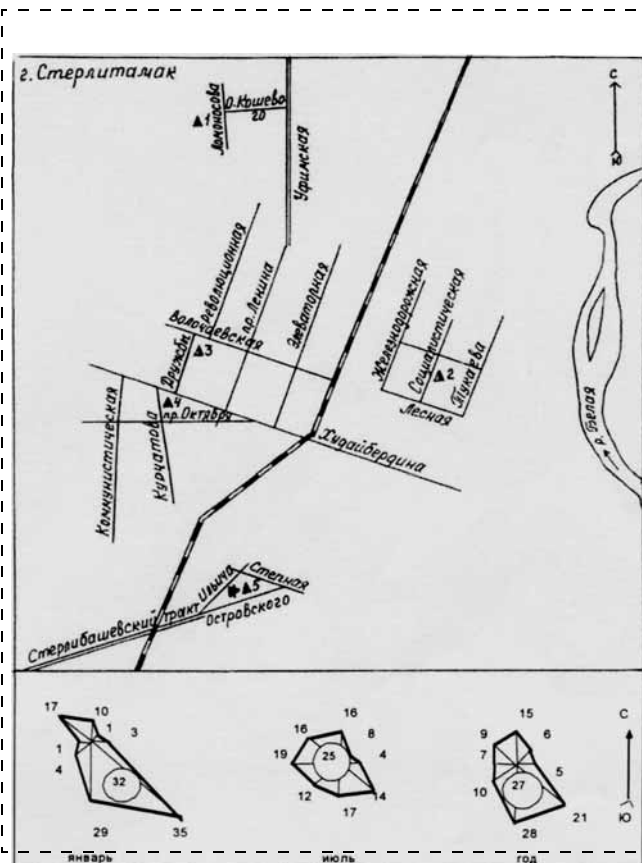


Схема расположения постов наблюдений Центра мониторинга окружающей среды ГУ "Башкирское УГМС"



Таблица 2

Изменение валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу г. Стерлитамака РБ

Год	Объем валовых выбросов, т/год
2005	57047,18
2006	60084,01
2007	68663,49
2008	54219,28
2009	59603,94
2010	60607,14
2011	56484,91

Мониторинг атмосферного воздуха в г. Стерлитамаке проводится в соответствии с требованиями Руководства РД 52.04.189-89 [1] Центром мониторинга окружающей среды ГУ "Башкирское Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды" (ГУ "Башкирское УГМС") и его подразделением в г. Стерлитамаке. В данной работе систематизированы и обобщены данные мониторинга, осуществляемого Башкирским УГМС. Схема наблюдательных постов 1, 2, 3, 4, 5 представлена на рисунке.

Посты наблюдения (станции) подразделяются на "городские фоновые", расположенные в жилом районе (станции № 2 и № 5), "промышленные" — вблизи предприятий (станции № 1 и № 3) и "авто" — вблизи автомагистралей или в районах с интенсивным движением транспорта (станция № 4). Это деление весьма условно, поскольку промышленные предприятия и автодороги находятся в черте города.

Перечень контролируемых ингредиентов включает в себя: оксиды азота, диоксид серы, сероводород, аммиак, формальдегид, фенол, хлорид водорода, оксид углерода, пыль, бенз(а)пирен, тяжелые металлы и углеводороды. Основным показателем, характеризующим вклад каждого предприятия в загрязнение

атмосферного воздуха, является объем валового выброса.

Динамика изменения валовых выбросов загрязняющих веществ за 2005—2011 гг. в целом по г. Стерлитамаку приведена в табл. 2.

Максимальное значение приходится на 2007 г. и составляет 68,663 тыс. т. Отраслевая структура выбросов загрязняющих веществ в атмосферу за 2007 г. представлена в табл. 3.

Как видно из табл. 3, основной вклад в загрязнение атмосферы вносят предприятия нефтехимической и химической отрасли.

Данные по суммарным выбросам предприятий, являющихся основными поставщиками загрязняющих веществ в атмосферу, представлены в табл. 4.

Максимальный объем выбросов в атмосферу имеют: ОАО "Сода", вклад которого составляет 87,22 % от общего объема выбросов, а также ЗАО "Каучук" (9,22 %) и ОАО "Каустик" (2,7 %).

Оценка состояния атмосферного воздуха в г. Стерлитамаке за период 2005—2007 гг. проведена в соответствии с требованиями нормативных документов [1, 2] по результатам мониторинга, осуществляемого Башкирским УГМС. В воздухе контролировались общераспространенные загрязняющие вещества (диоксид азота, оксид углерода, диоксид серы, бенз(а)пирен), а также специфические примеси (сероводород, аммиак, формальдегид и др.). Так, за 2006 г. в атмосферном воздухе г. Стерлитамака обнаружены превышения по среднегодовым концентрациям для оксида азота (1,4...2,1 ПДК) и бенз(а)пирена (2,4 ПДК). Единичные превышения максимальных разовых концентраций были выявлены для оксида углерода (2,2 ПДК) в районе станции № 2 и аммиака (8,4 ПДК) в районе ОАО "Сода". Кроме веществ глобального распро-

Таблица 3
Отраслевая структура выбросов загрязняющих веществ в атмосферу г. Стерлитамака за 2007 г.

Вид экономической деятельности	Количество выбросов, т/год								Доля в общей структуре, %	Изменение количества вредных веществ к 2006 г., %
	Твердые	Серы диоксид	Оксид углерода	Азота диоксид	Углеводороды	ЛОС*	Прочие	Всего		
Производство пищевых продуктов, включая напитки	17,855	0,219	74,971	42,273	0,056	49,977	39,9	225,251	0,33	-13,2
Химическое и нефтехимическое производство	4750,319	4638,682	39238,675	1733,905	9,364	5021,593	1619,447	57011,985	83,03	16,2
Производство, передача и распределение электроэнергии, газа, пара и горячей воды	23,415	5159,328	650,47	4551,409	119,606	4,88	0,268	10509,376	15,31	8
Прочие виды деятельности	304,99	8,83	174,238	69,324	81,151	268,016	10,315	916,875	0,5	3,3
Итого	5096,57	9807,059	40138,354	6396,911	210,177	5344,486	1669,93	68663,487		14,3

* Летучие органические соединения (ЛОС).

Таблица 4

Объем выбросов предприятий химического и нефтехимического профиля в г. Стерлитамаке

№ п/п	Наименование предприятия	Объем выбросов, т/год	Доля в общем объеме выбросов, %
1	ФКП "Авангард"	11,59	0,02
2	ОАО "Каустик"	1538,25	2,70
3	ЗАО "Каучук"	5272,90	9,22
4	ОАО "Сода"	49710,56	87,22
5	ООО Стерлитамакский завод катализаторов	14,24	0,02
6	ОАО "Синтез-Каучук"	187,38	0,33
7	Прочие	277,07	0,49
	Итого	57011,99	100

странения (оксидов азота и углерода, бенз(α)пирена), в атмосфере г. Стерлитамака постоянно присутствовали специфические компоненты: сероводород и формальдегид, среднегодовые концентрации которых соответствовали 2,3 ПДК, этилбензол (до 15 ПДК_{м.р.}), хлорид водорода, ксилолы, хлороформ (до 2 ПДК_{м.р.}). Загрязнение тяжелыми металлами по статистическим данным [3] незначительное.

Уровень загрязнения воздуха был охарактеризован с помощью индекса загрязнения атмосферы (ИЗА). Расчет ИЗА для одного вещества производится по формуле: $I_i = (q_i / \text{ПДК}_{\text{сш}})^K$, где q_i — среднегодовая концентрация i -й примеси; K — константа, равная 0,85; 1,0; 1,3; 1,5 для веществ 4, 3, 2 и 1-го классов опасности соответственно.

Комплексный ИЗА, учитывающий m веществ, присутствующих в атмосферном воздухе, рассчитывается по формуле: $I_m = \sum_{i=1}^m I_i$. При расчете данного показателя учитывается пять веществ, имеющих наибольшие значения I_i .

В 2006 г. значение ИЗА составляло 9,6 и определялось концентрациями бенз(α)пирена, формальдегида, диоксида азота, хлороформа и гидрохлорида:

$$I_m = \left[\left(\frac{0,0000024}{0,000001} \right)^{1,5} + \left(\frac{0,007}{0,003} \right)^{1,3} + \left(\frac{0,056}{0,04} \right)^1 + \left(\frac{0,027}{0,030} \right)^{1,3} + \left(\frac{0,065}{0,100} \right)^{1,3} \right] = 9,6.$$

Помимо ИЗА, важными показателями для оценки состояния атмосферного воздуха являются также:

- стандартный индекс (СИ), представляющий собой наибольшую измеренную максимальную разовую концентрацию любого вещества, деленную на ПДК;

Таблица 5

Оценка уровня загрязнения атмосферы г. Стерлитамака (2004—2006 гг.)

Наименование примеси	Характеристика	Годы			T, %
		2004	2005	2006	
Взвешенные вещества	$q_{\text{ср}}$	0,1	0,1	0,1	0
	СИ	2,6	2,8	1,0	—
	НП	0,1	1,0	0,0	—
Диоксид серы	$q_{\text{ср}}$	0,004	0,005	0,006	+40
	СИ	0,6	0,4	0,5	—
	НП	0,0	0,0	0,0	—
Оксид углерода	$q_{\text{ср}}$	1	1	1	0
	СИ	2,0	3,0	2,2	—
	НП	0,1	1,1	0,1	—
Диоксид азота	$q_{\text{ср}}$	0,06	0,05	0,06	0
	СИ	15,1	5,6	9,9	—
	НП	36,4	32,1	2,4	—
Оксид азота	$q_{\text{ср}}$	0,04	0,08	0,03	-20
	СИ	0,7	3,3	1,4	—
	НП	0,0	3,1	0,3	—
Сероводород	$q_{\text{ср}}$	0,003	0,002	0,02	+20
	СИ	2,6	1,4	2,6	—
	НП	0,0	0,2	0,3	—
Фенол	$q_{\text{ср}}$	0,001	0,001	0,001	0
	СИ	0,9	2,5	1,4	—
	НП	0,0	0,9	0,2	—
Хлорид водорода	$q_{\text{ср}}$	0,05	0,07	0,07	+36
	СИ	2,5	3,0	2,8	—
	НП	0,3	2,5	2,7	—
Аммиак	$q_{\text{ср}}$	0,03	0,04	0,03	0
	СИ	2,3	2,8	8,4	—
	НП	0,4	0,8	1,7	—
Формальдегид	$q_{\text{ср}}$	0,005	0,005	0,007	+36
	СИ	0,8	1,4	4,0	—
	НП	0,0	0,1	0,5	—
Бензол	$q_{\text{ср}}$	0,02	0,02	0,02	0
	СИ	0,7	0,5	1,0	—
	НП	0,0	0,0	0,2	—
Четыреххлористый углерод	$q_{\text{ср}}$	0,01	0,01	0,01	0
	СИ	0,0	0,0	0,0	—
	НП	0,0	0,0	0,0	—
Хлороформ	$q_{\text{ср}}$	0,01	0,02	0,03	+100
	СИ	0,6	0,6	1,1	—
	НП	0,0	0,0	0,2	—
В целом по городу	ПЗА	3,2	3,8	3,4	—
	СИ	15,1	6,9	15,0	—
	НП	36,4	32,1	6,3	—
	ИЗА	11,1	11,2	9,6	—

Примечание. $q_{\text{ср}}$ — средняя концентрация примеси в воздухе, мг/м³ [2].



- наибольшая повторяемость превышения ПДК любым веществом в городе (НП, %);
- потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА), определяющий средние годовые значения климатических параметров: перенос и рассеивание примесей, поступающих в воздушный бассейн с выбросами предприятий и автотранспорта. Рассчитывается по формуле:

$$\text{ПЗА} = 2,3 \exp \left[\frac{0,04}{(z_2 - z_1)^2} - \frac{0,4z_1}{z_2 - z_1} \right], \text{ где } z_1 = P_{\text{инв}} +$$

$+ P_{\text{сл}} - P_3 - P_T$; $z_2 = P_3 + P_T$; $P_{\text{инв}}$, $P_{\text{сл}}$, P_3 , P_T — повторяемости приземных инверсий, слабых ветров, застоев ветра, туманов соответственно;

- тенденция изменения уровня загрязнения (T), рассчитываемая по формуле: $T = [(q_{\text{сп}2} - q_{\text{сп}1})/q_{\text{сп}1}] \times 100$, где $q_{\text{сп}1}$, $q_{\text{сп}2}$ — средние годовые значения концентраций примесей за 2004 и 2006 гг. наблюдений.

В табл. 5 представлены обобщенные данные по оценке атмосферного воздуха в г. Стерлитамаке за 2004—2006 гг.

В настоящее время уровень загрязнения воздушного бассейна города характеризуется как высокий, что выше среднереспубликанского показателя

(ИЗА по РБ = 9) и в 3 раза превышает установленные нормы.

Из данных табл. 5 видно, что за период 2004—2006 гг. средние концентрации диоксида серы, хлорида водорода, сероводорода, формальдегида, хлороформа в атмосфере г. Стерлитамака повысились. За счет роста промышленного производства наметилась тенденция увеличения выбросов, приток которых составляет ~8...10 % ежегодно. Эта тенденция сохраняется и в настоящее время.

Объемы промышленных выбросов предприятий химического и нефтехимического профиля не сокращаются, поэтому для объективной оценки состояния атмосферного воздуха в городах с высокой антропогенной нагрузкой, таких как г. Стерлитамак, требуются принципиально новые подходы к организации системы мониторинга качества атмосферного воздуха с учетом вклада каждого предприятия в загрязнение атмосферы.

Список литературы

1. **Руководство по контролю** загрязнения атмосферы РД 52.04.189-89. — М., 1991. — 693 с.
2. **Документы** о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию. РД 52.04.667—2005. — М., 2006. — 724 с.
3. **Ежегодник** состояния загрязнения атмосферного воздуха на территории деятельности ГУ "Башкирское УГМС" за 2006 год.

УДК 625.855.3

Р. З. Шаяхметов, канд. техн. наук, **В. В. Яковлев**, д-р техн. наук, проф.,
Уфимский государственный нефтяной технический университет
E-mail: rinat30@yandex.ru

Безотходная технология очистки подземных вод от железистых и марганцевистых соединений (на примере Патраковского водозабора г. Нефтекамска Республики Башкортостан)

Рассмотрена проблема очистки воды с последующей ликвидацией образовавшихся шламов. Подобраны условия переработки осадков и предложена технологическая схема получения пигмента для окрашенных бетонов и лакокрасочных композиций. Исследованы основные свойства и характеристики пигмента.

Ключевые слова: шламы водоочистки, марганцевый пигмент, переработка отходов

Shayhmetov R. Z., Yakovlev V. V. No-waste technology of cleaning the underground water from ferruginous and manganous compounds

The problem of cleaning water and utilization of wastes is considered. Conditions of utilization wastes are obtain and suggest technological schema of produce the pigment for colored concrete and paint compositions. General properties and characteristics of pigment are research.

Keywords: wastes from water cleaning, the manganous pigment, the utilization of wastes

В настоящее время актуальной задачей становится принцип Zero Waste (принцип "нулевых отходов"), поэтому при реализации любых производственных целей и задач необходимо проводить мероприятия, направленные на защиту окружающей среды. В предлагаемой статье рассмотрен принцип очистки воды от марганцовистых соединений с последующей переработкой шламов.

На данный момент водоснабжение большинства небольших населенных пунктов производится за счет забора подземных вод. Это позволяет снизить себестоимость воды за счет исключения поверхностных водозаборов и снижения затрат на очистку. Подземные воды, как правило, имеют лучшее качество по сравнению с поверхностными (по взвешенным веществам, мутности и цветности), однако зачастую проигрывают по органолептическим показателям (повышенному содержанию железистых и марганцовистых соединений).

В качестве объекта исследования был выбран шлам, образующийся при очистке подземных вод на очистных сооружениях г. Нефтекамска Республики Башкортостан. Он представляет собой порошок темно-бурого цвета. Химический анализ шлама показал содержание оксида кремния около 40 %, оксида марганца более 30 %, железа около 5 %.

На рис. 1 и 2 показаны электронно-микроскопические снимки образцов шлама с водоочистных сооружений г. Нефтекамска. Процесс удаления марганцовистых и железистых соединений происходит благодаря деятельности железо- и марганец-окисляющих бактерий [1]. Механизм окисления следующий: бактерия кокковой или нитчатой формы

закрепляется на частице бионосителя; далее на поверхности ее тела происходит процесс окисления марганцовистых и железистых соединений до высшей степени окисления (например, $Mn^{2+} \rightarrow Mn^{4+}$), энергия двух электронов расходуется на рост и жизнедеятельность бактерии. Постепенно вся поверхность бактерии покрывается оксидами железа и марганца высшей степени окисления. Образуя темный "чехол", бактерия выползает из него для освобождения поверхности тела. За счет сил адгезии "чехлы" прилипают к частицам бионосителя, образуя сплошную пленку. Данная пленка обладает способностью осаждать на себе оксиды марганца и железа, т. е. является каталитической. В целом данный процесс более корректно называть биокаталитическим.

В качестве бионосителя можно использовать полиэтиленовые гранулы, гравий, щебень или песок, на которых происходит закрепление железо- и марганец-окисляющих бактерий с их последующим ростом.

Результаты локального микроанализа показали, что исследуемые частицы содержат, в основном, марганцовистую, железистую и кремниевую компоненты.

Очистка воды от марганца на биофильтрах при отсутствии в воде железа проведена на примере воды Патраковского водозабора г. Нефтекамска РБ [1]. В качестве загрузки фильтров был применен кварцевый песок крупностью 0,6...0,2 мм. Время зарядки фильтра 30 суток. При содержании марганца 1,4 мг/л в исходной воде эффективность очистки 96 %.

Таким образом, рассматриваемый процесс является безреагентным и в силу этого экономически выгодным. В результате данного процесса возможно появление осадков с высоким содержанием

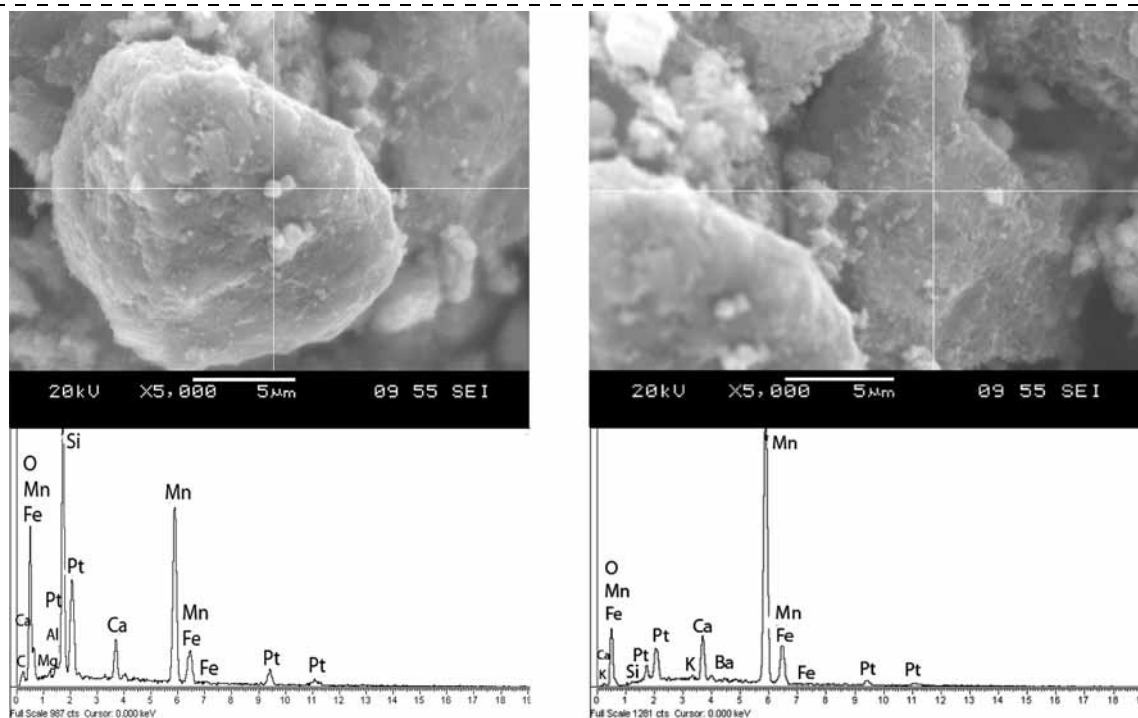


Рис. 1. Электронно-микроскопические снимки шлама, образованного преимущественно в результате жизнедеятельности кокковых бактерий

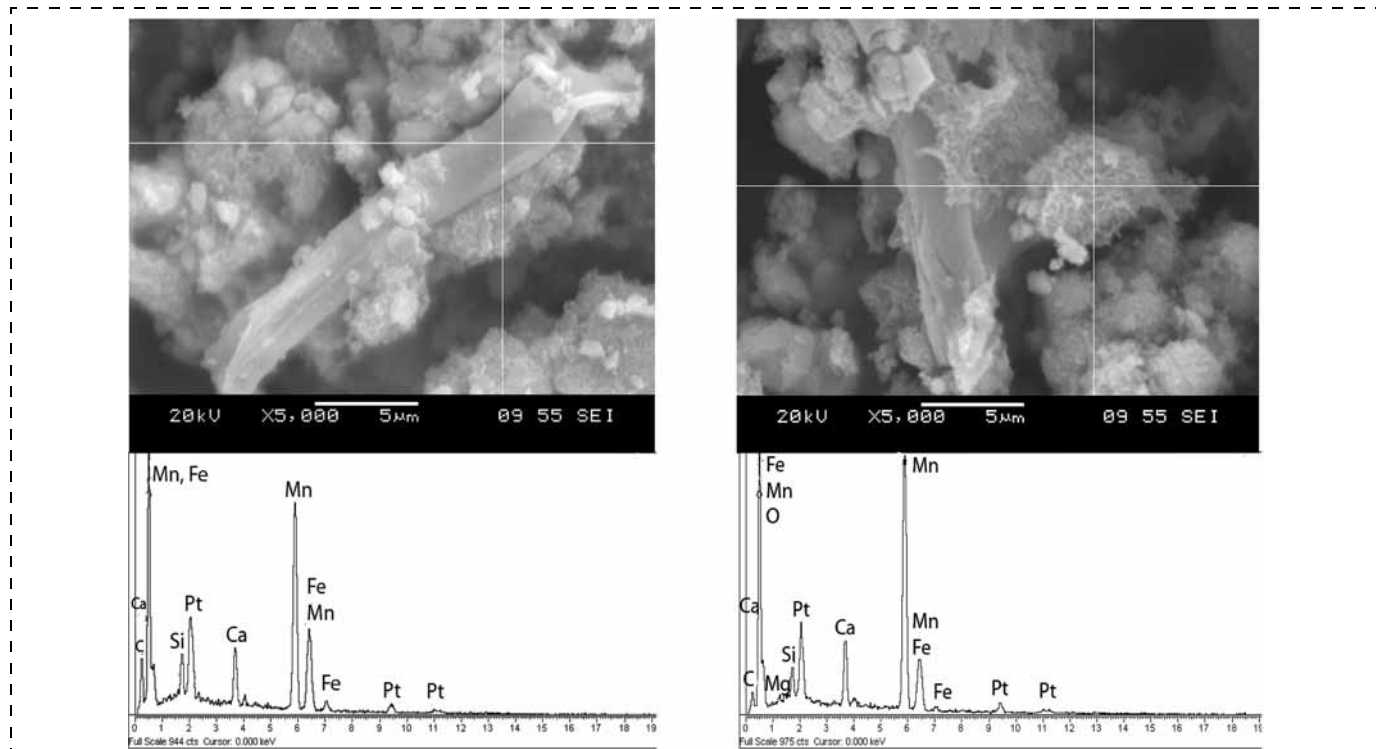


Рис. 2. Электронно-микроскопические снимки шлама, образованного нитчатыми бактериями

железистых и марганцовистых соединений, проблему утилизации которых необходимо решить.

Одним из вариантов утилизации представляется использование шламов в качестве сырья для производства каталитической загрузки. В данном случае необходимо обеспечить образование на поверхности зерен фильтрующего материала пленки из тех же соединений, что и на поверхности бактерий. Кроме этого, материал должен обладать высокой грязеемкостью, фильтровальной способностью и хорошей прочностью. Однако этот вариант не позволяет утилизировать осадки и даже увеличит их за счет накопления новых на зернах фильтровального материала.

Ввиду незначительного количества шлама перспективным направлением, по мнению авторов, является использование его в качестве сырья для производства лакокрасочных композиций и декоративных бетонов [2, 3].

При производстве пигментов одним из важнейших процессов является обжиг сырья, необходимый для удаления избыточной влаги. Было проведено рентгенофазовое исследование образцов порошков шлама, обожженных при разных условиях. Результаты представлены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что в диапазоне температур 500...600 °С происходит фазовый переход MnO_2

Таблица 1

Результаты рентгенофазового анализа марганцевых порошков

Температура обжига, °С/время обжига, ч	MnO_2		Mn_2O_3		Mn_3O_4		SiO_2 (β-кварц)		SiO_2 (α-кварц)	
	%	размер блока, нм	%	размер блока, нм	%	размер блока, нм	%	размер блока, нм	%	размер блока, нм
105/2,0	41,8	4,72	—	—	—	—	58,2	36,05	—	—
200/2,0	41,8	4,72	—	—	—	—	58,2	36,05	—	—
300/2,0	41,6	4,78	—	—	—	—	58,4	39,52	—	—
400/2,0	36,0	4,68	—	—	—	—	64,0	38,59	—	—
500/1,5	29,4	4,59	7,2	2,59	—	—	63,4	38,97	—	—
500/2,0	24,4	4,10	9,5	2,79	—	—	66,1	34,18	—	—
500/2,5	24,0	3,69	16,5	3,09	—	—	57,5	36,00	—	—
600/1,5	18,4	3,52	17,5	3,29	—	—	—	—	64,6	34,97
600/2,0	5,9	3,42	36,0	3,40	—	—	—	—	58,1	32,78
600/2,5	3,0	3,42	35,6	3,41	—	—	—	—	61,4	33,99
700/1,5	—	—	23,5	4,45	15,3	9,36	—	—	61,2	32,30
700/2,0	—	—	18,5	4,83	21,8	12,85	—	—	59,7	32,65
700/2,5	—	—	12,5	5,39	31,2	14,85	—	—	56,3	33,15
800/2,0	—	—	11,5	5,59	38,1	14,95	—	—	50,4	32,79

в Mn_2O_3 с уменьшением размера блоков MnO_2 и с некоторым ростом кристаллов Mn_2O_3 . При дальнейшем нагреве происходит фазовый переход Mn_2O_3 в Mn_3O_4 с резким увеличением среднего размера блоков. Очевидно, что обжиг шлама при температуре свыше $600\text{ }^\circ\text{C}$, не целесообразен, поэтому принимаем рабочую температуру обжига, равную $600\text{ }^\circ\text{C}$ при продолжительности прогрева 2 ч, достаточную для перехода SiO_2 (β -кварц) в SiO_2 (α -кварц). При фазовом переходе оксида кремния происходит небольшое изменение объема частиц, что приведет к разрушению крупных частиц на более мелкие, следовательно, затраты на помол при производстве пигментов будут меньше [3].

Данные рентгенофазового анализа были подтверждены результатами электронной микроскопии (рис. 3). Видно, что в результате обжига исходного порошка шлама произошло разрушение крупной частицы размером около 20 мкм на более мелкие с размерами менее 5 мкм.

На следующем этапе исследования в лабораторных условиях был получен образец пигмента из шлама водоочистки Патраковского водозабора г. Нефтекамска Республики Башкортостан. Основные характеристики марганцевого пигмента и лакокрасочного покрытия на его основе представлены в табл. 2.

Расширение цветовой гаммы возможно за счет изменения соотношения железистых и марганцевистых соединений. В рассматриваемом случае шламы содержат менее 5 % оксидов железа и более 30 % оксида марганца. В случае смешения марганцевистых осадков с большим содержанием железистых шламов (например, образующихся на станции обезжелезивания в д. Кармаскалы) можно изменить цвет получаемого пигмента от желтого до красного.

С учетом проведенных исследований была предложена схема переработки шлама в пигмент, показанная на рис. 4 [4].

Исходный марганцевый осадок поступает в аппарат репульсации исходного сырья 1, в котором происходит "распускание" агрегатов осадка. Получившаяся суспензия осадка насосом 2 подается на два последовательно расположенных гидроциклона, которые необходимы для отделения частиц песка. Песок направляется на песковые площадки 8 для подсушки и дальнейшего

Таблица 2

Основные характеристики марганцевого пигмента и лакокрасочного покрытия

Показатель	Величина	Метод исследования
Величина удельной поверхности, cm^2/g	8370	Прибор ПСХ-2
Маслоемкость, $g_{\text{масла}}/100\text{ }g_{\text{пигмента}}$	21,9	ГОСТ 21119.8—75
Укрывистость, g/m^2	6,5	ГОСТ 8784—75
Коэффициент водорастворимых солей	0,75	ГОСТ 21119.11—92
pH водной вытяжки	8,40	ГОСТ 21119.3-91
Цвет при смешивании с двуокисью титана	От светло-серого до черного	ГОСТ 16873—92 (ИСО 787-1—82)

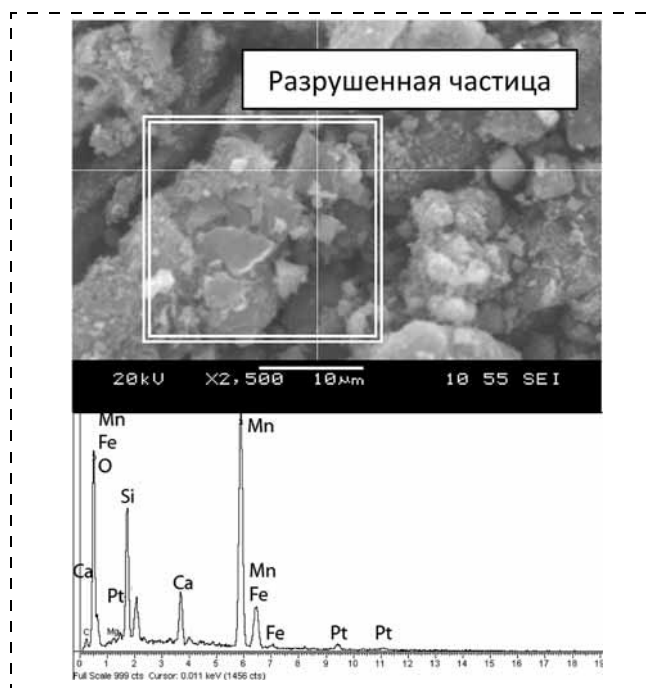


Рис. 3. Частица шлама, обожженного при $600\text{ }^\circ\text{C}$, и ее локальный микроанализ

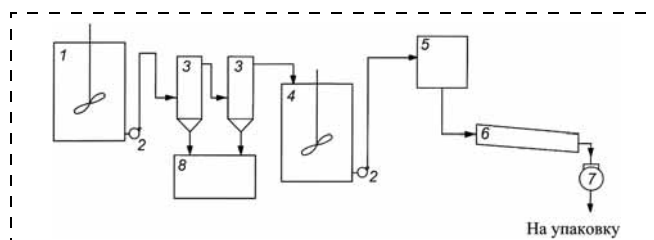


Рис. 4. Принципиальная схема переработки шламов водоочистки:

1 — аппарат репульсации осадка; 2 — насосы; 3 — гидроциклоны; 4 — сборник очищенного от песка сырья; 5 — отделение фильтров; 6 — прокалочная печь; 7 — размольное оборудование; 8 — песковая площадка

нейшего использования, например в качестве наполнителя для гидроизоляционных мастик или минерального порошка при производстве асфальтобетона. Очищенный марганцевый шлам поступает в сборник очищенного от песка сырья 4, откуда насосом подается в отделение фильтров 5. Отфильтрованный продукт подается в печь 6, где происходит обжиг марганцевого шлама при температуре $600\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 2 ч и далее с помощью транспортера подается на размольное оборудование 7. В качестве размольного оборудования можно принять шаровые (струйные) мельницы или дисмембратор.

Выводы

1. В результате исследования шлама очистки подземных вод Патраковского водозабора г. Нефтекамска установлено, что он содержит свыше 30 % соединений марганца, около 40 % оксида



кремния и является ценным сырьем для получения пигментов строительного назначения.

2. Из результатов исследования процессов, происходящих при обжиге шлама, следует, что повышение температуры обжига выше 600 °С не целесообразно. Частицы обожженного порошка состоят из кварцевого ядра с выкристаллизованными на его поверхности частицами оксида марганца. При температуре около 600 °С происходит фазовый переход β-кварца в α-кварц с изменением объема ядра частицы, крупные частицы начинают разрушаться на более мелкие, это позволяет в дальнейшем сократить затраты на помол обожженного порошка.

3. Получен пигмент со следующими основными свойствами: укрывистость — 6,5 г/м², маслосе-

кость — 21,9 г_{масла}/100 г_{пигм.}, удельная поверхность — не менее 8000 см²/г.

Список литературы

1. Шаяхметова С. Г., Назаров В. Д., Шаяхметова Р. З., Яковлев В. В. Роль железобактерий при очистке воды от марганца Патраковского водозабора Краснокамского района РБ // Башкирский химический журнал. — 2007. — Т. 14, № 2. — С. 126—130.
2. Шаяхметов Р. З., Яковлев В. Д. Деманганация подземных вод и утилизация шламов водоочистки // Водоснабжение и санитарная техника. — 2009. — № 10, ч. 2. — С. 25—30.
3. Шаяхметов Р. З., Яковлев В. Д. Строительные пигменты из шламов водоочистки // Строительные материалы. — 2008. — Т. 12. — С. 32—33.
4. Шаяхметов Р. З., Назаров В. Д., Яковлев С. Г., Шаяхметова С. Г. Получение пигмента в результате утилизации отходов в процессе очистки подземных вод (на примере Патраковского водозабора г. Нефтекамска) // Башкирский химический журнал. — 2007. — Т. 14, № 2. — С. 90.

УДК 504.4.054

Н. Н. Красногорская¹, д-р техн. наук, проф., **А. Н. Кутляхметов**², канд. геогр. наук, доц., **А. Н. Елизарьев**¹, канд. геогр. наук, доц., **Р. Г. Ахтямов**¹, канд. техн. наук, доц., **Д. В. Куликова**¹, магистр

¹ Уфимский государственный авиационный технический университет

² Башкирский государственный университет, г. Уфа

E-mail: elizariev@mail.ru

Совершенствование системы очистки ливневого стока урбанизированной территории

Предложена методика оценки концентрации загрязняющих веществ в ливневом стоке урбанизированной территории. Разработана технологическая схема очистки ливневого стока с применением высшей водной растительности.

Ключевые слова: ливневый сток, урбанизированная территория, ливневая канализация, взвешенные вещества, концентрация нефтепродуктов, биологическое плато

Krasnogorskaya N. N., Kutliahmetov A. N., Elizariev A. N., Akhtyamov R. G., Kulikova D. V. Improvement of the cleaning system of storm runoff urbanized territory

The method to estimate the storm water pollution urban area is proposed. The technological scheme of storm water treatment with higher water plants is developed.

Keywords: storm runoff, urbanized territory, storm sewage, suspended sediment, petroleum products concentration, constructed wetland

Введение

Ежегодное увеличение количества автомобильного транспорта приводит к ухудшению состояния окружающей среды, в том числе гидросферы. Обо-

стрение дефицита пресной воды является одной из главных угроз глобальному устойчивому развитию, что отмечено в решении международных форумов и саммитов, в том числе Международного форума "Чистая вода" (Москва, 2010 г.).

Для урбанизированных территорий с повышенной антропогенной нагрузкой характерно качественное истощение водных ресурсов, обусловленное сбросом сточных вод с поверхности автомобильных дорог [1]. В настоящее время исследования воздействия автотранспортных средств на окружающую среду в основном сводятся к оценке шумового загрязнения и степени загрязненности атмосферного воздуха. При этом недостаточно изучен механизм и специфика загрязнения ливневых вод, а также способы их очистки. Как следствие — незначительное внимание уделяется загрязнению водных объектов и грунтовых вод ливневыми стоками с автомобильных дорог [2]. Ливневый сток сбрасывается в водные объекты и на рельеф по дождевой канализации открытого, закрытого и смешанного типов.

Поскольку ливневый сток урбанизированных территорий является одним из источников загрязнения гидросферы, организованное его отведение

и очистка заложены в требованиях по охране водных ресурсов [3]. Для снижения негативного влияния поверхностного стока на водную среду необходима разработка научно обоснованного подхода к выбору типа и параметров очистных сооружений ливневого стока урбанизированной территории.

Спектр загрязняющих веществ, содержащихся в ливневом стоке, достаточно широк [2, 4]. С ливневыми стоками в водные объекты сбрасываются: нефтепродукты, взвешенные вещества, алюминий, ион аммония, железо, марганец, медь, никель, нитраты, нитриты, свинец, сульфаты, фенолы, хлориды. В соответствии с Рекомендациями по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий [3] в качестве приоритетных показателей, на которые следует ориентироваться при выборе технологической схемы очистки поверхностного стока с урбанизированных территорий, выделены такие показатели качества воды, как содержание взвешенных веществ и нефтепродуктов.

Наибольшую опасность для гидросферы при сбросе ливневых вод представляют нефтепродукты, в состав которых входят бензол, стирол, толуол, ксилол и др. Основными источниками поступления нефтепродуктов являются утечки из топливных систем автомобилей (интенсивность утечки нефтепродуктов изменяется от 1,3 до 13,6 г/ч) [4].

Содержание взвешенных веществ в поверхностном стоке приводит к повышению мутности воды и заилению водных объектов. Взвешенные вещества образуются за счет истирания шин и асфальтового покрытия, просыпей грузов, а также после зимней обработки дорог песчано-солевыми смесями. Концентрации взвешенных веществ в ливневых стоках колеблются от нескольких миллиграммов до десятков граммов в литре воды. Широкий диапазон колебаний наблюдается также по дисперсному составу частиц [4].

Методика оценки концентраций загрязняющих веществ в ливневом стоке

Исследования [5] загрязненности дождевого стока показали, что концентрация загрязняющих веществ в ливневом стоке зависит от интенсивности выпадающих осадков и меняется по мере их выпадения, что в значительной степени затрудняет прогнозирование концентраций загрязняющих веществ на выпускном оголовке ливневой канализационной сети (ЛКС).

Здесь предложен подход к определению концентрации загрязняющих веществ в ливневом стоке, который рассматривает ЛКС как "усреднитель" концентрации загрязняющих веществ. Процесс усреднения концентраций происходит за счет турбу-

лентного и ламинарного режимов движения ливневого стока в коллекторах ливневой канализации.

Объем ливневой канализационной сети $V_{\text{уср}}$, м³, как "усреднителя" концентраций загрязняющих веществ в ливневом стоке рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{уср}} = QtK_y, \quad (1)$$

где Q — расход ливневого стока, м³/с;

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (2)$$

где Q_i — расход ливневого стока в каждой из точек сброса в ливневую канализацию, м³/с; n — количество точек поступления дождевого стока в ливневую канализационную сеть, шт.; t — продолжительность сброса загрязняющих веществ с ливневым стоком, с; K_y — коэффициент усреднения.

Параметр t определяется на основе данных о ливневой канализационной сети по формуле

$$t = t_{\text{кр}} + \frac{L\pi d^2}{4Q}, \quad (3)$$

где $t_{\text{кр}}$ — критическая продолжительность дождя, с (при отсутствии внутриквартальной канализации — 300...600 с; при ее наличии — 180...300 с [6]); L — длина ливневой канализационной сети, м; d — диаметр коллектора ливневой канализации, м.

Коэффициент усреднения K_y рассчитывается по экспериментальным данным о концентрации загрязняющих веществ в ливневом стоке:

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i - C_{\text{ср}})}{n(C - C_{\text{ср}})}, \quad (4)$$

где C_i — концентрация загрязняющих веществ в ливневом стоке с i -й точки сброса, г/м³; $C_{\text{ср}}$ — средняя концентрация загрязняющих веществ, г/м³; C — концентрация загрязняющих веществ на оголовке ЛКС, г/м³.

С учетом выражений (1)–(4) уравнение для определения объема ливневой канализационной сети как для "усреднителя" ливневого стока имеет вид:

$$V_{\text{уср}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \sum_{i=1}^n (C_i - C_{\text{ср}})}{n(C - C_{\text{ср}})} \left(t_{\text{кр}} + \frac{\pi d^2 L}{4 \sum_{i=1}^n Q_i} \right). \quad (5)$$

Отсюда концентрация загрязняющих веществ на оголовке ливневой канализации может быть рассчитана по формуле:

$$C = C_{\text{ср}} + \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \sum_{i=1}^n (C_i - C_{\text{ср}})}{n \frac{\pi d^2 L}{4}} \left(t_{\text{кр}} + \frac{\pi d^2 L}{4 \sum_{i=1}^n Q_i} \right). \quad (6)$$



Особый интерес представляет оценка концентраций нефтепродуктов, так как необходимо учитывать тот факт, что, попадая на дорожное полотно, нефтепродукты испаряются, впитываются в асфальтовое покрытие, смываются дождями. Исследования способов трансформации нефтепродуктов, попавших на дорожное полотно, выполненные в работе [7], показали, что бензин и дизельное топливо испаряются за короткий промежуток времени, а моторное масло впитывается в асфальт. Уже через сутки после попадания масла на асфальт с его поверхности удается смыть только 11,5 % от первоначального количества. Через 7 суток эта величина падает до 1,24 %. Проведенные эксперименты показали, что впитывание нефтепродуктов поверхностью дорожного покрытия заканчивается за первые 1...5 мин.

Следовательно, загрязнение ливневого стока нефтепродуктами происходит только в период выпадения осадков, а накоплением нефтепродуктов в междождевой период можно пренебречь.

Концентрацию нефтепродуктов в ливневом стоке во время дождя можно рассчитать с помощью формулы [7]:

$$C_{\text{ср}}^{\text{н.п}} = \frac{N_{\text{л}}f_{\text{л}} + N_{\text{гр}}f_{\text{гр}}}{vBI}, \quad (7)$$

где $C_{\text{ср}}^{\text{н.п}}$ — средняя концентрация нефтепродуктов в ливневом стоке, г/м³; I — интенсивность выпадения осадков, мм/ч; $f_{\text{л}}$ — средняя интенсивность утечки нефтепродуктов из топливных систем легковых автомобилей, г/ч (1,3 г/ч) [8]; $f_{\text{гр}}$ — средняя интенсивность утечки нефтепродуктов из топливных систем грузовых автомобилей, г/ч (13,6 г/ч) [8]; $N_{\text{л}}$ — интенсивность движения легковых автомобилей, авт./ч; $N_{\text{гр}}$ — интенсивность движения грузовых автомобилей, авт./ч; v — средняя скорость автомобилей, км/ч; B — ширина проезжей части, м.

Предложенный подход к определению концентрации загрязняющих веществ в ливневом стоке может быть использован для подбора оптимальных параметров очистных сооружений ливневого стока.

Способы очистки ливневого стока урбанизированной территории

В настоящее время существует несколько принципиально различных способов очистки ливневых вод, которые можно условно разделить на две группы.

1. Способы очистки, в основе которых лежат физические, химические и физико-химические процессы, протекающие в локальных очистных сооружениях. Очистка ливневых сточных вод способами данной группы возможна до нормируемых концен-

траций, но требует высоких затрат реагентов и электроэнергии, регенерации фильтров, квалифицированного обслуживающего персонала.

2. Способы очистки, в основе которых лежат естественные биологические процессы самоочищения, протекающие в почве и водных объектах. Например, одним из таких способов является очистка сточных вод, основанная на удалении загрязняющих веществ с помощью высших водных растений на искусственных сооружениях — биоплато. Этот способ очистки ливневых стоков применяется за рубежом и в ряде крупных городов России, таких как Москва и Санкт-Петербург [9]. На кольцевых автомобильных дорогах Москвы и Санкт-Петербурга реализован организованный сбор, отвод и очистка ливневых стоков с помощью фильтрационных бассейнов с высшей водной растительностью. В них создаются условия, моделирующие процесс самоочищения воды в природе. Стенки бассейна и его основание выполняются с применением габионов, матрасов Рено и системы Террамеш, поэтому он органично вписывается в окружающую среду и становится элементом ландшафта.

Широкое применение биоплато и фильтрационных бассейнов связано с рядом преимуществ по сравнению с другими очистными сооружениями (рис. 1) [10]. Показанные на рисунке преимущества использования естественных биологических систем для очистки ливневых стоков обуславливают целесообразность их применения. Распространение этой технологии в последние годы наблюдается как в странах Европейского Союза, так и в Российской Федерации, в том числе в Западно-Сибирском регионе.

В качестве примера можно привести использование в последнее десятилетие биопрудов с тропическими растениями *Eichhornia crassipes* (водяной гиацинт) в Ставропольском крае, Томской и Новосибирской областях на основе технологий, разработанных в Институте цитологии и генетики СО РАН, НИИ биологии и биофизики при Томском государственном университете. Ранее аналогич-

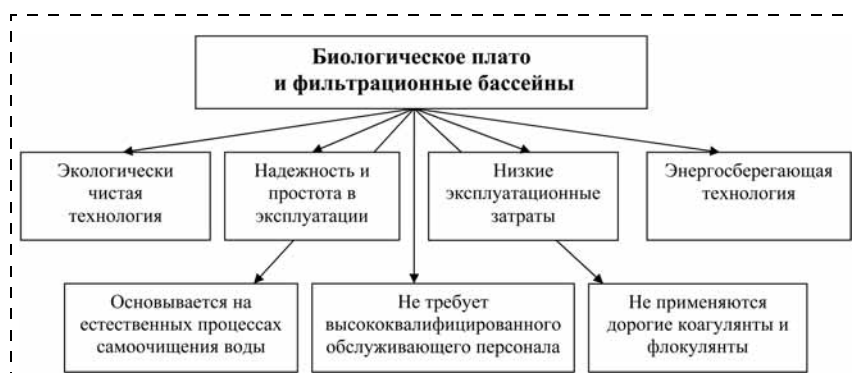


Рис. 1. Преимущества очистки ливневых стоков на биологических плато и в фильтрационных бассейнах

ные системы были построены и введены в эксплуатацию в США, Западной Европе, Австралии и Японии, в том числе с применением тростника, рогоза, рдеста, элодеи, камыша и т. д. [11, 12].

Алгоритм определения параметров очистных сооружений ливневого стока и его апробация на примере города

Несмотря на то что использование биологических плато для очистки стоков получило широкое распространение, в настоящее время отсутствует научно обоснованный подход к выбору типа и параметров очистных сооружений ливневого стока с использованием высших водных растений. В связи с этим предложен алгоритм определения основных параметров очистных сооружений для ливневого стока урбанизированной территории, структурная схема которого приведена на рис. 2.

Применения предложенного алгоритма определения параметров очистных сооружений для ливневого стока проведено на примере г. Уфы.

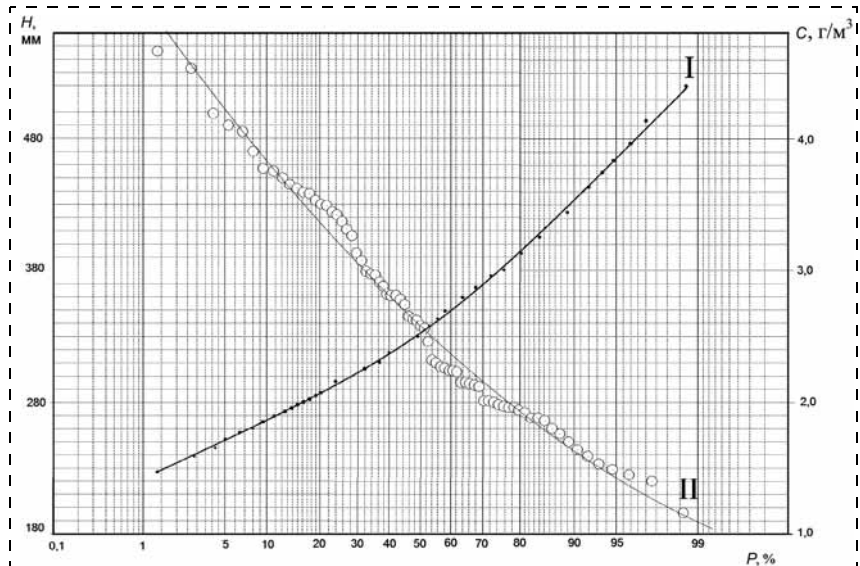


Рис. 3. Зависимость (I) концентрации нефтепродуктов в ливневом стоке на оголовке ЛКС (C) от обеспеченности выпадения осадков (P) и кривая обеспеченности (II) выпадения осадков (H)

Исходные данные и характеристика территории г. Уфы получены путем исследования качественного состава ливневого стока и анализа литературных данных [13].

Используя статистические данные о количестве выпадающих осадков с 1962 по 2008 г. (по данным БашУГМС), интенсивности и скорости движения автомобильного транспорта [8], проведены расчеты концентрации нефтепродуктов на выпускном оголовке ЛКС по формулам (6) и (7). В результате получена зависимость величины концентраций нефтепродуктов на оголовке ливневой канализации (C) от количества выпадающих осадков различной обеспеченности (P), которая представлена на рис. 3.

Из рисунка видно, что при увеличении количества выпадающих осадков концентрация нефтепродуктов снижается, что обусловлено процессами разбавления ливневого стока в ливневой канализационной сети города. Концентрации нефтепродуктов на оголовке ливневой канализации находятся в интервале от 1,48 до 4,4 мг/л, что превышает допустимые значения для сброса в водные объекты хозяйственно-питьевого назначения в 5...15 раз. Таким образом, для снижения негативного влияния нефтепродуктов на водные объекты необходимо осуществлять очистку ливневого стока.

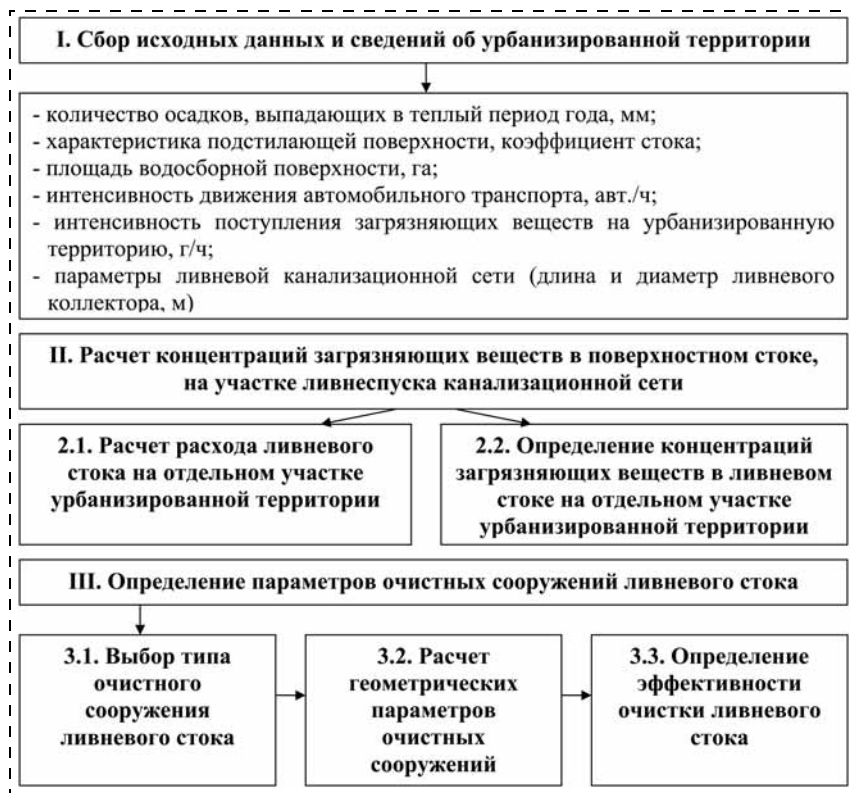


Рис. 2. Структурная схема алгоритма определения параметров очистных сооружений для ливневого стока урбанизированной территории



Технология очистки ливневого стока урбанизированной территории

Для очистки ливневого стока урбанизированной территории разработана и предложена схема очистных сооружений, представленная на рис. 4 [14].

Определение параметров предложенного сооружения очистки ливневого стока (см. рис. 4) заключается в расчете площади участков биологического плато и подборе их оптимальных, с точки зрения линейных размеров, параметров. Объем воды в канале биологического плато, m^3 , рассчитывается по формуле:

$$V = lhm, \quad (8)$$

где l , h и m — длина, глубина и ширина канала биологического плато, м.

Ежесуточный объем ливневых стоков, проходящий через канал биологического плато, $m^3/сут$, определяется по формуле:

$$W = \frac{V}{\tau}, \quad (9)$$

где τ — количество суток.

Количество каналов биологического плато определяется из соотношения

$$K = \frac{Q_{сут}}{W} = \frac{Q_{сут}\tau}{lhm}, \quad (10)$$

где $Q_{сут}$ — общий объем очищенной воды в сутки, $m^3/сут$

$$Q_{сут} = \frac{Q_d}{t_d}, \quad (11)$$

где Q_d — годовой объем ливневых стоков, $m^3/год$; t_d — среднегодовое число дождливых дней.

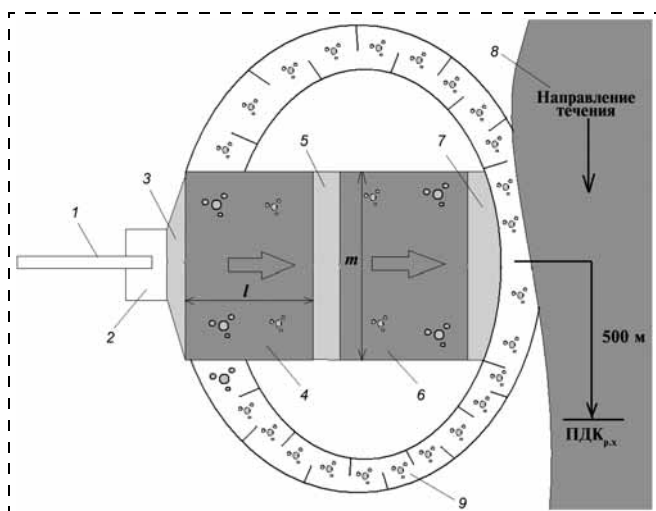


Рис. 4. Сооружения очистки ливневого стока с территории города: 1 — оголовок ливневой канализации; 2 — участок отделения взвешенных веществ; 3, 5, 7 — участки инфильтрации (габионы); 4 — участок биологического плато с воздушно-водной растительностью; 6 — участок биологического плато с высшей водной растительностью; 8 — водный объект; 9 — обводной канал

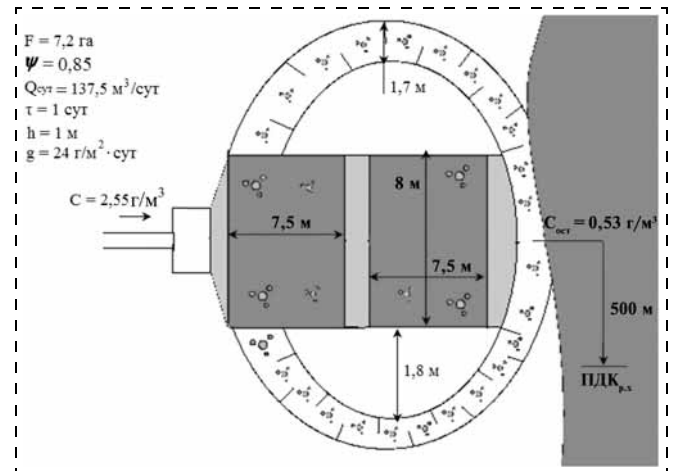


Рис. 5. Параметры очистных сооружений ливневого стока урбанизированной территории (на примере г. Уфы)

Параметр Q_d определяется по формуле [2]:

$$Q_d = 10H\% \psi F, \quad (12)$$

где $H\%$ — среднегодовой слой осадков в теплый период года, с учетом обеспеченности, мм; ψ — общий коэффициент стока; F — площадь бассейна водосбора, га.

Общая площадь биологического плато рассчитывается по формуле:

$$S = K(m + p)l \quad (13)$$

или, с учетом выражения (10),

$$S = \frac{Q_{сут}\tau(m + p)}{hm}, \quad (14)$$

где p — расстояние между каналами плато, м.

С помощью формул (8)—(14) проведен расчет параметров очистного сооружения ливневого стока, предложенного в работе [14] для г. Уфы. Площадь биологического плато без учета площади обводных каналов равна $117 m^2$ (при выпадении осадков с обеспеченностью 50 %). По аналогичным расчетам получено, что площадь биологического плато с обводными каналами для очистки максимально возможного ливневого стока равна $190 m^2$ (при выпадении осадков с обеспеченностью 1,3 %).

С учетом рассчитанных площадей (117 и $190 m^2$) определены размеры площадок биологического плато, представленные на рис. 5. Установка очистки ливневого стока с урбанизированной территории, разработанная и запатентованная УГАТУ, представлена на рис. 6 (см. 3-ю стр. обложки).

Остаточная концентрация нефтепродуктов после очистки на биоплато, мг/л

$$C_{ост} = C - \frac{lhg}{1,3Q_{сут}}, \quad (15)$$

где C — концентрация загрязняющих веществ на оголовке ЛКС, $г/м^3$; $C_{ост}$ — концентрация загрязняющих веществ после очистки на биологическом

плато, $г/м^3$; g — очистительная способность отдельного вида высшего водного растения, $г/м^2 \cdot сут$; для климатических условий г. Уфы водоочистительная способность тростника и рогоза принимается равной $g = 24 г/м^2 \cdot сут$.

Ливневые стоки урбанизированной территории (на примере г. Уфы), прошедшие через барьер с высшими водными растениями, имеют остаточную концентрацию нефтепродуктов $0,53 г/м^3$, что ниже ПДК_{р,х} на расстоянии 500 м ниже по течению реки. Полученные данные свидетельствуют об эффективности предлагаемых очистных сооружений и целесообразности их использования для защиты водной среды в крупных городах (рис. 7 — см. 3-ю стр. обложки).

Исследование состава взвешенных веществ в ливневом стоке урбанизированной территории

Наряду с нефтепродуктами одними из приоритетных загрязнителей являются взвешенные вещества. В связи с этим проведено экспериментальное определение состава и загрязненности взвешенных веществ, содержащихся в ливневом стоке с территории г. Уфы.

При помощи концентратомера нефтепродуктов КН-2м проведен анализ валового содержания нефтепродуктов в пробе взвешенных веществ ливневого стока. Валовое содержание нефтепродуктов в анализируемой пробе составило $0,31 г/кг$, что соответствует допустимому уровню загрязнения $1 г/кг$ [15].

Определение валового содержания тяжелых металлов, содержащихся в анализируемой пробе, осуществлялось на атомно-абсорбционном двухлучевом спектрофотометре АА-6200 фирмы SHIMADZU. Полученные массовые концентрации тяжелых металлов в анализируемой пробе приведены в таблице.

Содержание исследуемых тяжелых металлов не превышает ПДК и ОДК (ориентировочно допустимые концентрации) для почв. Высокое содержание железа в анализируемой пробе вызвано тем, что оксид железа Fe_2O_3 является неотъемлемым компонентом почв, осадочных пород, техногенных грунтов и т. д.

С помощью сит с отверстиями различного диаметра (1, 2, 4, 5, 10 мм) анализировался гранулометрический состав взвешенных веществ (рис. 8).

Содержание тяжелых металлов в пробе взвешенных веществ

Тяжелый металл	Содержание тяжелых металлов $C_{cp} \pm \Delta C^*$, мг/кг	ОДК, ПДК _{почв} [15, 16], мг/кг
Pb	$8,3 \pm 4,98$	32
Ni	$11 \pm 5,72$	20
Cd	—	0,5
Fe	$6907,6 \pm 2763$	—
Co	$3,15 \pm 1,79$	—
Mn	$152,6 \pm 53,4$	1500
Cu	$8,4 \pm 5,04$	33
Cr	$8,4 \pm 4,78$	—
Zn	$23,43 \pm 12,18$	55

* ΔC — погрешность измерения.

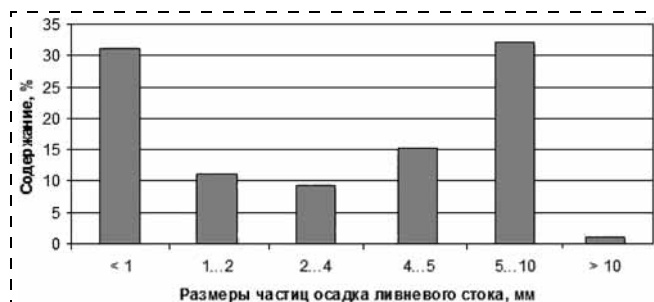


Рис. 8. Гранулометрический состав пробы осадка ливневого стока

Как видно из рисунка, частицы взвешенных веществ с размерами более 10 мм в пробе практически отсутствуют, что связано с механической уборкой автомобильных дорог. В составе анализируемой пробы преобладают частицы с размерами менее 1 мм (31 %), формирующиеся за счет смыва почвы с "незапакованной" территории (открытый грунт, газоны, клумбы и т. д.). Попадая в водный объект, эти частицы приводят к повышению мутности воды. Частицы размерами 1...10 мм вызывают засорение ливневой канализационной сети и, как следствие, снижение живого сечения ливневых коллекторов на 30...50 %.

Так как протяженность ливневой канализации г. Уфы равна 136 км, а объем ливневых коллекторов — $427 000 м^3$, масса осадка взвешенных веществ (в пересчете на сухое вещество) составляет 288 000 т. Для посыпки автомобильных дорог в г. Уфе ежегодно закупается около 55 000 т песка — примерно на 13 млн руб. [17]. Поэтому для снижения затрат на покупку песка предлагается использовать осадок ливневого стока в качестве песчаной смеси для посыпки улиц в зимний период года, так как проведенный анализ качественного состава взвешенных веществ показал, что загрязнение осадка соответствует допустимым значениям.

Выводы

На основе проведенной оценки количественного и качественного состава ливневого стока г. Уфы разработана и предложена методика, позволяющая прогнозировать концентрации загрязняющих веществ на оголовке ливневой канализации. Расчетные концентрации нефтепродуктов в ливневом стоке г. Уфы превышают допустимые значения. Таким образом, стоки необходимо подвергать очистке перед сбросом в водный объект.

Предложен и апробирован (на примере г. Уфы) алгоритм определения параметров очистных сооружений для ливневого стока урбанизированной территории. Предложены инженерные решения, включающие очистку ливневого стока урбанизированной территории с использованием биологических плато и габрионных конструкций, которые позволят сократить поступление загрязняющих веществ с ливневым стоком в водные объекты.

Разработана схема очистных сооружений ливневого стока с использованием высшей водной расти-



тельности. Рассчитаны размеры очистных сооружений ливневого стока с территории г. Уфы. Концентрация нефтепродуктов в ливневом стоке после очистки на биологическом плато ниже ПДК_{р.х.} в контрольном створе.

Проанализирован качественный состав осадка ливневого стока. Выявлено, что загрязнение осадка соответствует допустимому уровню. Экономически обосновано использование образующегося осадка ливневого стока в качестве песчаной противогололедной смеси.

Список литературы

1. **Перевозчиков В. Ф.** Дорожно-мостовая гидрология. — М.: Транспорт, 1983. — 199 с.
2. **Ильина А. А.** Влияние автомобильного транспорта на загрязнение поверхностных стоков с автомобильных дорог и мостов // Новости в дорожном деле / Науч.-техн. информ. сб. материалов. — Вып. 2. — М.: ФГУП "ИНФОРМАВТОДОР", 2004. — С. 35—39.
3. **Рекомендации** по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты / ФГУП НИИ ВОДГЕО. — М., 2006. — 55 с.
4. **Алексеев М. И., Курганов А. М.** Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий: уч. пос. — М.: АСВ; СПб.: СПбГАСУ, 2000. — 352 с.
5. **Жигарев Д. В.** Учет закономерностей формирования дождевого стока с урбанизированных территорий при защите водных объектов от загрязнений: дис. ... канд. техн. наук. — М., 2005. — 108 с.
6. **Немчинов М. В.** Проектирование водостока в городах: уч. пос. — М.: МАДИ, 1988. — 325 с.

7. **Экологическое обоснование** схемы отведения и очистки ливневых вод с мостовых переходов и полотна автомобильной дороги // Отчет по НИР / Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова. — Санкт-Петербург, 2001.
8. **Пшенин В. Н., Коваленко В. И.** Загрязнение ливневых стоков с автомобильных дорог // Вестник ИНЖЭКОНА. — 2007. — Вып. 6 (19). — С. 140—145.
9. **Бухтияров В. И.** Проблемы защиты водного бассейна от воздействия субъектов топливного рынка // Экологическая и пожарная безопасность современных АЭС. Международная конференция: сб. материалов. — М., 1998. — С. 86—89.
10. **Стольберг Ф. В., Ладьженский В. Н.** Использование очистных сооружений биоплато для очистки городских сточных вод // Коммунальное хозяйство городов: научно-технический сб. материалов. — М., 2002. — Вып. 36. — С. 45—50.
11. **Denmark A. S., Karpuhin V. F.** Reference book on modern technologies of treatment of natural and waste water and the equipment. — Copenhagen: Ministry of Environment and Energy, Danish Environment Protection Agency, 2001. — 253 p.
12. **Диренко А. А., Кнус А., Коцарь Е. М.** Использование высших водных растений в практике очистки сточных вод и поверхностного стока // Санитарная техника и водоснабжение. — 2006. — № 5. — С. 15—18.
13. **Официальный сайт** Администрации городского округа города Уфа Республики Башкортостан. Режим доступа: <http://www.ufacity.info/index.php>
14. **Патент 2404137 РФ.** Установка очистки ливневого стока урбанизированной территории / Н. Н. Красногорская, А. Н. Елизарьев, Р. Г. Ахтямов, Р. Р. Мавлявиева, Л. М. Якупова; ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет. № 2009122223/05; заявл. 09.06.2009; опубл. 20.11.2010.
15. **МУ 2.1.7.730—99.** Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. — М.: Изд-во стандартов, 2000. — 45 с.
16. **ГН 2.1.7.020—94** Ориентировочно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в почвах.
17. **Информационное агентство** Республики Башкортостан. Режим доступа: <http://www.bashinform.ru/news/387228/>

УДК 556.114:504.058

Т. П. Смирнова, канд. хим. наук, **Г. Ф. Шайдулина**, канд. техн. наук, **В. И. Сафарова**, д-р хим. наук, проф., Управление государственного аналитического контроля, г. Уфа, **А. Н. Кутляхметов**, канд. геогр. наук, доц., Башкирский государственный университет, г. Уфа
E-mail: hatmullina_rm@mail.ru

Формирование сероводородных зон на малых реках-приемниках сточных вод горнорудных предприятий (на примере малых рек Республики Башкортостан)

Рассказано о формировании в малых реках зон с высоким содержанием сульфидов и сероводорода, вызванных комплексным воздействием недостаточно очищенных сточных вод. Рассмотрены серные циклы и изменения в них, которые приводят к концентрированию нерастворимых сульфидов в донных отложениях малых рек.

Ключевые слова: сероводородные зоны, малые реки, горнорудные предприятия

Smirnova T. P., Shaydulina G. F., Safarova V. I., Kutliahmetov A. N. Formation of hydrosulphuric zones on the small rivers-receivers of the mining enterprises sewage (on an example of the Bashkortostan Republic small rivers)

The formation of zones with the high maintenance of sulfides and the hydrogen sulfide in the small rivers, caused by not enough-cleared sewage complex influence is shown. Sulfuric cycles and changes in them which lead to concentration of insoluble sulfides in the small rivers ground sediments are considered.

Keywords: hydrosulphuric zones, small rivers, the mining enterprises

Одним из основных источников загрязнения водных объектов являются сточные воды промышленных предприятий. Среди множества отраслей, представленных в Республике Башкортостан, значительными потребителями пресной воды являются горнодобывающая и пищевая промышленность. Предприятия этих отраслей по разным причинам являются поставщиками больших объемов недостаточно очищенных сточных вод в природные водотоки. Очистка сточных вод, образующихся на этих предприятиях, затруднена по следующим причинам: для горно-обогатительных комбинатов (ГОК) — это отсутствие адекватных технологий очистки технологических, шахтных и подотвальных вод; для предприятий объектов молочной промышленности — многолетнее убеждение, что сточные воды этих производств легко могут быть обработаны на городских очистных сооружениях, так как они легко окисляются, не токсичны и загрязнены в основном органическими веществами. Следствием такого подхода является отсутствие очистных сооружений и прямой сброс в водные объекты. Как показывает практика, при этом в месте сброса создается анаэробная обстановка, поскольку на окисление органических веществ, содержащихся в сточных водах молочных комбинатов, расходуется большое количество растворенного кислорода. Поэтому взвесь, присутствующая в сточной воде, наслаивается на дне водоема и впоследствии вызывает процессы гнивания и брожения [1]. В процессе биохимического восстановления сульфатов образуются сероводород и сульфиды [2].

Основными загрязняющими веществами, поступающими от горнорудных предприятий отрасли в окружающую среду, являются тяжелые металлы (ТМ) и сульфаты [3], потоки рассеяния которых составляют многие километры от места поступления недостаточно очищенных сточных вод. Однако при наложении потоков сточных вод горно-обогатительных комбинатов и предприятий пищевой промышленности в реках-приемниках

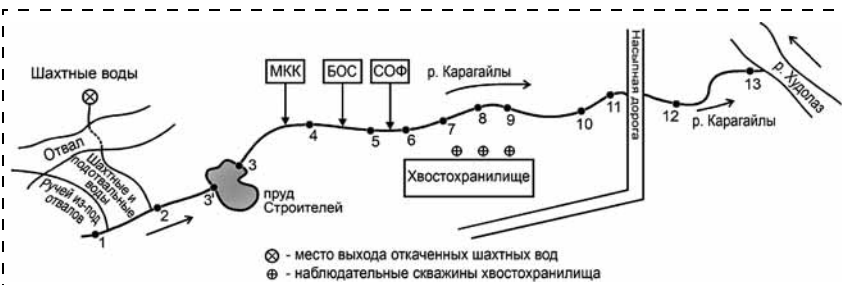


Рис. 1. Расположение точек отбора проб воды и донных отложений р. Карагайлы:

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 молочного комбината; 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

могут возникать антропогенно измененные зоны, в пределах которых обнаруживаются различные вновь образованные токсичные вещества (в частности, сульфиды и сероводород), которые резко изменяют состояние водной экосистемы.

В ходе многолетнего мониторинга реки Карагайлы, протекающей в районе Сибайского медно-цинкового месторождения, было установлено, что на ее отдельных участках в летний период неоднократно наблюдалось присутствие сульфидов при их практическом отсутствии в сточных водах, поступающих в реку [4]. Протяженность зоны практически постоянного присутствия сульфидов и пониженных концентраций кислорода достигала 3 км. Основные технологические объекты горно-обогатительного комбината, породные отвалы, места поступления сточных вод промышленных предприятий и участок реки Карагайлы протяженностью 12 км с указанием точек отбора проб воды отображены на рис. 1.

Эти исследования послужили предпосылкой для предметного изучения цикла серы для малых водотоков, находящихся в зоне влияния предприятий по добыче и переработке колчеданных руд и предприятий по переработке молока, в сточных водах которых присутствуют органические соединения.

Природные воды и малозагрязненные шахтные воды, контактируя с минералами горных пород, изменяют свой состав. По результатам биотестирования

Таблица 1

Результаты анализа проб воды р. Карагайлы в створах влияния сточных вод предприятий г. Сибай

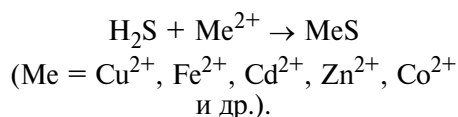
Показатели	Содержание загрязняющих веществ, мг/дм ³ , в исследуемых створах						ПДК _{р.х.} , мг/дм ³
	т. 1	т. 2	т. 6	т. 9	т. 11	т. 13	
рН, ед.	7,7	4,3	6,5	6,9	7,0	6,8	6,5...8,5
ХПК	10,3	12,3	35,5	15,1	16,2	16,3	Не норм.
Кислород растворенный	10,0	6,8	9,9	2,8	<0,5	1,9	>4
Минерализация	285	2720	1945	1668	1859	1959	1000
Медь	0,001	1,3	0,030	0,77	0,019	0,001	0,001
Цинк	0,10	19,4	12,4	11,1	6,5	2,70	0,01
Марганец	0,03	4,2	2,4	2,6	1,3	1,3	0,01
Кадмий	Отс.	0,047	0,026	0,020	0,025	0,009	0,005
Железо (общее)	0,62	12,0	0,62	0,8	1,0	1,51	0,1
Сульфиды	Отс.	Отс.	Отс.	0,008	0,100	0,27	0,005
Сульфаты	60	1600	905	996	989	1044	100



ния шахтных вод, отобранных при их откачке на поверхность и при поступлении в реку в составе смешанного стока шахтных и подотвальных вод, установлен резкий рост показателя токсичности при сбросе в реку (табл. 1), что полностью коррелирует с данными химического анализа. Поступление в реку Карагайлы большого объема сильно загрязненных сточных вод определяет состав ее воды практически до устья. В табл. 1 представлены сведения об основных показателях качества воды и о содержании в речной воде тяжелых металлов, сульфатов и сульфидов.

Как видно из табл. 1, качество воды реки Карагайлы резко ухудшается при поступлении в нее смешанного стока шахтных и подотвальных вод (т. 2), объем которого в летнюю межень может превышать расход воды в реке до четырех раз. Влияние сбросов других предприятий на состав воды реки выражается в уменьшении рН, увеличении ХПК и снижении показателя минерализации, концентраций сульфатов и тяжелых металлов, связанное с разбавлением высокоминерализованных сточных вод ГОК, содержащих высокие концентрации металлов, речной водой и сточными водами городских предприятий. Следует отметить повышенное значение ХПК в створе т. 6, свидетельствующее о наличии органических соединений, поступающих в реку со сточными водами молочно-консервного комбината и городских очистных сооружений. В районе расположения хвостохранилища в воде реки Карагайлы увеличивается содержание Cu ; концентрации SO_4^{2-} , Zn , Mn , Cd сохраняются неизменными на участке от створа т. 6 до створа т. 9; ниже по течению существенно возрастают концентрации сульфидов, при этом снижается содержание сульфатов SO_4^{2-} , ТМ и растворенного в воде кислорода.

На основе полученных данных было высказано предположение о том, что в малых водотоках, принимающих обогащенные тяжелыми металлами сточные воды горно-обогатительных предприятий, важной реакцией является взаимодействие сероводорода с катионами ТМ, которые обнаруживаются в высоких концентрациях в воде [3]. В результате этого образуются труднорастворимые сульфиды, которые депонируются в донных отложениях:



На рис. 2 представлены схемы антропогенно измененного цикла серы, частично объясняющие пути появления в малой реке нехарактерных для водотока серосодержащих соединений.

В период активизации "сероводородной зоны" в реке Карагайлы, поми-

мо комплексного сезонного обследования воды и донных отложений, был проведен лабораторный эксперимент. Суть его заключалась в следующем: к пробам речной и донно-иловой воды (полученной путем центрифугирования донных отложений) добавлялась питательная среда (6 г/дм^3 натрия лимоннокислого и 1 г/дм^3 сульфата железа). Пробы заливались в склянки до самого верха, герметично укупоривались и помещались в термостат, где выдерживались от 7 до 20 суток. О появлении сульфидов в герметично укупоренных пробах судили по почернению раствора, предполагая, что выделяющийся сероводород реагирует с ионом железа с образованием сульфида железа черного цвета. Почернение раствора в пробах, отобранных в разных створах, свидетельствующее об образовании FeS , наблюдалось через 7, 8, 9, 11 суток от начала эксперимента. Эти результаты послужили косвенным подтверждением присутствия сульфатовосстанавливающих бактерий (СВБ) в воде и донных отложениях реки Карагайлы.

Антропогенно измененный цикл серы в реке Карагайлы

Результаты микробиологического исследования и данные по обследованию фактического состояния реки Карагайлы позволили сформировать перечень химических реакций, характерных для участников серного цикла при отсутствии и наличии антропогенного воздействия. Для природных водотоков характерными являются преобразования между следующими формами серы: сульфаты, сероводород, сера [5]. На рис. 2, а приведен фрагмент серного цикла, связанный с трансформацией неорганических серосодержащих соединений, который имеет место в поверхностных незагрязненных водотоках [2].

В анаэробных условиях (рис. 2, б) под действием сульфатовосстанавливающих бактерий сульфаты восстанавливаются до сероводорода в диссимиляторном процессе:

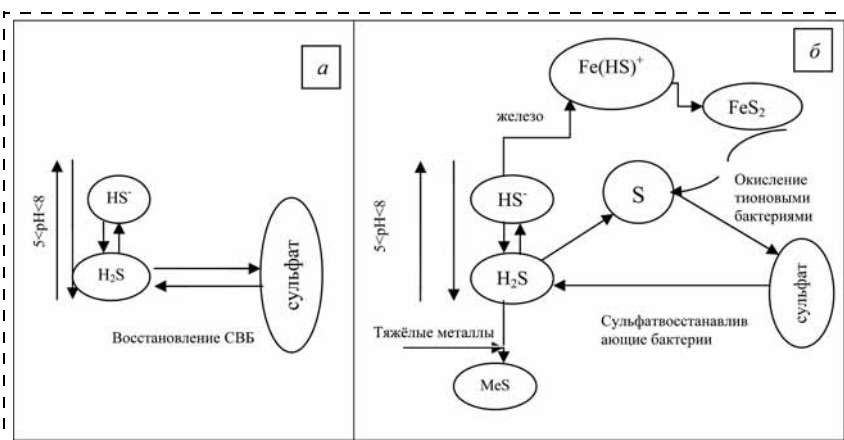
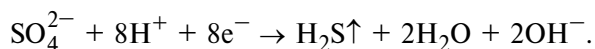
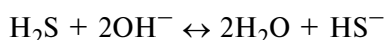


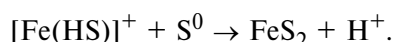
Рис. 2. Фрагмент цикла серы для незагрязненного природного водотока (а) и реки Карагайлы (б)

Однако этот процесс не считается значимым для поверхностных водотоков с хорошей аэрацией воды из-за незначительности природных концентраций веществ, участвующих в серном цикле, а также из-за отсутствия условий его реализации. При наличии антропогенного воздействия, нарушающего сбалансированность природного круговорота серы в экосистеме малой реки, эта биохимическая реакция становится начальной в перечне химических и биохимических преобразований, характерных для участников серного цикла [6]. Сероводород, образующийся в биохимическом процессе, подвергается гидролизу:

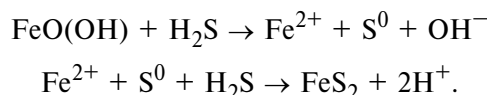


или диссоциирует в воде с образованием гидросульфида. Часть сероводорода выделяется в атмосферу. Наряду с этим возможно его взаимодействие с катионами металлов, в результате чего сероводород частично связывает ТМ, поступающие с шахтными водами ГОКа с формированием отложений нерастворимых сульфидов CuS , FeS , CdS , ZnS на дне реки.

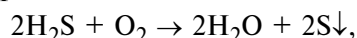
Важным обстоятельством, определяющим последующие химические преобразования в реке, является поступление со сточными водами ГОКа растворенного железа, представленного его двухвалентной формой. Биохимически генерированный сероводород в первую очередь связывается с катионами Fe^{2+} , образуя моносульфид. Двухвалентное железо может также вступать во взаимодействие с растворенным в воде гидросульфидом с образованием гидротроиллита $\text{Fe}(\text{HS})_2$, который в свою очередь реагирует со свободной серой с образованием пирита:



Наряду с этим вероятен процесс образования пирита по следующей схеме (рН среды 6,5):



Обратный процесс легко протекает с участием сероокисляющих и тионовых бактерий. Окисление растворенного в воде сероводорода в обычных условиях может происходить под действием кислорода с образованием коллоидной и мелкодисперсной серы:



которая затем окисляется до сульфата биохимическим путем.

Таким образом, присутствие пирита и элементной серы в донных отложениях малой реки может являться косвенным свидетельством протекания биохимического восстановления сульфатов, тем более что эти соединения не встречаются в незагрязненных водотоках.

Результаты исследования показали, что в воде и донных отложениях реки присутствуют различные серосодержащие соединения, не характерные для незагрязненных водотоков, присутствие которых с большой долей вероятности связано с изменением нормального цикла серы. Факторами, которые могут влиять на изменение этого цикла, являются гидрология реки, температурный режим, отсутствие кислорода, наличие сульфатов в воде, органического субстрата и наличие микроорганизмов, способных биотрансформировать соединения серы (см. рис. 2, б).

Таким образом, при антропогенном воздействии нарушается равновесие серного цикла в пределах речной экосистемы. Смещению равновесия природного

Таблица 2

Факторы, способствующие формированию «сероводородных зон» в районах расположения ГОКа [6]

Факторы	Признаки наличия фактора	Причины проявления фактора	Критерии оценки фактора	Источник
Наличие анаэробных зон	Отсутствие кислорода в воде	Сброс сточных вод, содержащих окисляющиеся соединения	Содержание кислорода < 0,5 мг/дм ³	[7]
	Наличие застойных зон	Гидрологические особенности водотока*	Визуальные наблюдения	[1, 5]
Сульфат-восстанавливающие бактерии	Обнаружение активных форм <i>Desulfovibrio sp</i>	Наличие аборигенных культур, присутствие их в сточных водах предприятий пищевых отраслей	Обнаружение сероводорода при культивировании	[8, 9]
Органические соединения	Высокий показатель ХПК в сточных водах, поступающих в реку	Поступление с водами предприятий коммунальной и пищевой отраслей	Определение ХПК > 5 мг/ дм ³ . Обнаружение сероорганических соединений	[1, 4, 5, 10]
Тионовые бактерии	Обнаружение <i>Tiobacillus ferrooxidans</i>	Попадание с подотвальными водами	10 ⁴ ...10 ⁶	[11, 9]
Сульфаты	Высокая минерализация воды	Поступление со сточными водами ГОК	Содержание сульфатов, превышающее ПДК	[7]
Температура воды	Положительная	Летний сезон	10...35 °С	[5]

* Извилистость реки, низкая скорость течения, малая глубина, возможность прогревания на мелководье.

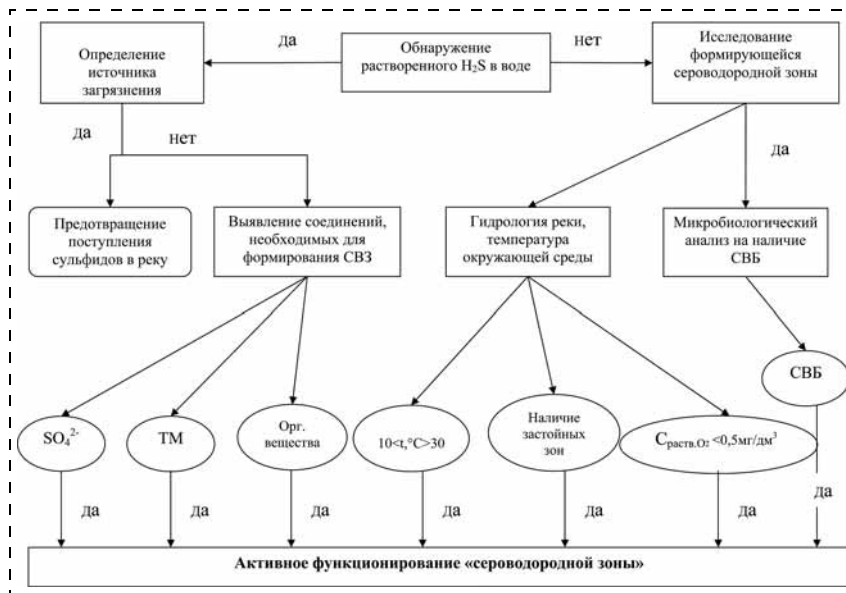


Рис. 3 Алгоритм функционирования "сероводородных зон" в малых реках

серного цикла способствует одновременное поступление в реку катионов ТМ, сточных вод молочного комбината и хозяйственно-бытовых стоков. В результате наблюдается активация восстановительной ветви, сопровождающаяся выделением сероводорода, и накопление в донных отложениях на отдельных участках реки нерастворимых соединений (сульфидов ТМ, пирита и серы). Факторы, обеспечивающие их активное функционирование, и параметры, используемые в качестве критериев для оценки эффективности каждого фактора, представлены в табл. 2.

Обнаружение на отдельных участках малых рек растворенных сульфидов и сероводорода позволяет говорить о них как о "сероводородных зонах". Наличие пирита и элементной серы в донных отложениях является дополнительным косвенным свидетельством протекания биохимического восстановления сульфатов с участием сульфатвосстанавливающих бактерий, поэтому их обнаружение можно считать важным аргументом для доказательства существования потенциальной "сероводородной зоны", а сами соединения — маркерными для процесса сульфатредукции.

Кроме приведенных в табл. 2 показателей, на потенциально опасных участках русла в период летней межени необходимо измерять расход воды, скорость течения, температуру, рН, окислительно-восстановительный потенциал, содержание Fe^{2+} . Алгоритм образования и функционирования активных "сероводородных зон" для малых рек, в частности для реки Карагайлы, приведен на рис. 3.

Представленная схема наглядно демонстрирует, что сочетание определенных природных условий и техногенных факторов приводит к образованию и активному функционированию "сероводородных зон". Исключение хотя бы одного из них

переводит активную "сероводородную зону" в неактивную. В связи с этим при организации системы мониторинга, где возможно формирование "сероводородных зон" на малых реках, необходимо выделить регулируемые факторы, которые могут быть устранены при проведении природоохранных мероприятий. Необходимость разработки этих мероприятий очевидна, так как образование "сероводородных зон" в малых реках может привести к интенсивному накоплению токсических компонентов в донных отложениях, к глубокому поражению биоценозов малых рек и резкому ухудшению качества среды обитания человека. Комплексная оценка наличия или отсутствия факторов, способствующих образованию "сероводородной зоны", позволяет прогнозировать и планировать эффективные экологические мероприятия по минимизации последст-

вий их образования на малых реках. Полученные данные являются информационной основой для принятия управленческих решений, направленных на сохранение малых рек.

Список литературы

1. Эпоян С. М., Горбань Н. С., Фомин С. С. Анализ существующих методов очистки сточных вод молокозаводов (сайт). <http://vbuv.gov.ua/portal/natural/201057/epoyan.pdf>.
2. Глобальный биогеохимический цикл серы и влияние на него деятельности человека. / Под общей редакцией Г. К. Скрябина. — М.: Наука. 1986. — 420 с.
3. Кухарев В. И., Калинкина Н. М., Дубровина Л. В. и др. Комплексная оценка эколого-техногенной нагрузки (Костромуский ГОК) на водные системы р. Кенти // Инженерная экология. — 1998. — № 6. — С. 33—41.
4. Фаухутдинов А. А., Сафарова В. И., Шайдулина Г. Ф., Смирнова Т. П. и др. Образование сульфидов в малых реках-реципиентах сточных вод горно-обогатительных комбинатов // Безопасность жизнедеятельности. — 2007. — № 9. — С. 9—14.
5. Грабович М. Ю. Участие прокарриот в круговороте серы // Соросовский образовательный журнал. — 1999. — № 12. — С. 16—20.
6. Смирнова Т. П. Роль химико-биологических факторов в формировании экологического состояния малых рек в зоне влияния горно-обогатительных комбинатов (на примере Республики Башкортостан): дис. ... канд. хим. наук / Т. П. Смирнова. — Казань 2009. — 147 с.
7. Hao Oliver J., Chen Jin M., Huang Li, Bugliss Robert L. Сульфатвосстанавливающие бактерии / Критические обзоры в области науки об окружающей среде и технологии. — 1996. — 26 (1). — С. 155—187.
8. Фаухутдинов А. А., Сафарова В. И., Смирнова Т. П. и др. Перераспределение и миграция серосодержащих соединений в воде и донных отложениях малых рек // Башкирский химический журнал. — 2008. — № 1. — С. 76—82.
9. Смирнова Т. П., Гагаулина Э. М., Сафарова В. И. Исследование микробиоценоза малой реки в зоне влияния крупного горно-обогатительного комбината // Сб. тез. V Международной научно-технической конференции "Наука, образование, производство в решении экологических проблем". — Уфа: Изд-во УГАТУ, 2008. — С. 124—128.
10. Карелин Я. А., Репин Б. Н. Биохимическая очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности. — М.: Пищевая промышленность, 1974. — 163 с.
11. Карокина Т. А., Чурбанова И. Н. Химия воды и микробиология. — М.: Стройиздат. 1983. — 167 с.

А. Р. Мухаматдинова¹, А. М. Сафаров², канд. техн. наук.,
А. Т. Магасумова¹, канд. хим. наук., Р. М. Хатмуллина¹, канд. хим. наук,
В. И. Сафарова¹, д-р хим. наук, И. П. Климина¹, канд. биол. наук

¹ Управление государственного аналитического контроля, г. Уфа

² Уфимский государственный нефтяной технический университет

E-mail: hatmullina_rm@mail.ru

Идентификация нефтепродуктов в объектах окружающей среды

Проведена идентификация нефтяных углеводородов в природных водах в зоне влияния объектов нефтехимической промышленности, а также сырья и продуктов их переработки с использованием различных физико-химических методов анализа: инфракрасной спектроскопии, газожидкостной хроматографии, хромато-масс-спектрометрии.

Ключевые слова: нефтепродукты, подземные воды, идентификация, n-алканы, углеводороды

Muhamatdinova A. R., Safarov A. M., Magasumova A. T., Khatmullina R. M., Safarova V. I., Klimina I. P. Identification of oil-products in objects of the environment

Identification of oil hydrocarbons in natural waters of petrochemical industrial objects influence zone is carried out. Various analysis methods were used for the identification, such as physicochemical methods, infra-red spectrometry, gas chromatography, gas chromatography/mass spectrometry.

Keywords: oil-products, ground waters, identification, n-alkanes, hydrocarbons

Введение

Проблеме идентификации нефтепродуктов в воде и других объектах окружающей среды всегда уделялось большое внимание [1—4]. Идентификация нефтепродуктов представляет собой сложную задачу из-за различия нефтей по своему составу, а также вследствие изменения ее состава в окружающей среде в результате испарения легких компонентов, биodeградации, фоторазложения и других факторов.

В аналитической практике для установления идентичности нефтяных углеводородов (УВ), поступающих из различных источников загрязнения, обычно проводят исследования различными физико-химическими методами с использованием образцов для сравнения [5]. Однако при сопоставлении характеристик проб нефтяных УВ, отобранных на загрязненной территории, с образцами для сравнения явное сходство обычно не выявляется. Ни

один из отдельно взятых методов анализа не позволяет получить полную картину качественного состава нефтепродуктов, присутствующих в природных средах. Поэтому для исчерпывающей оценки нефтяного загрязнения необходимо проводить исследования, которые основаны на последовательном применении различных методов анализа [6].

В Республике Башкортостан нефтяная отрасль представлена полным перечнем технологических процессов: от добычи нефти до получения продуктов ее переработки. В связи с этим республика имеет весь комплекс экологических проблем, характерных для нефтяной промышленности. Многолетние наблюдения за деятельностью нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий свидетельствуют об их интенсивном воздействии на окружающую среду. В грунтах промплощадок таких предприятий происходит скопление нефтяных УВ, поступающих в подземные горизонты в результате утечек и аварийных разливов. Так, на левом берегу реки Белая в районе г. Ишимбая расположены производственные объекты нефтехимической отрасли. В летнюю межень здесь неоднократно наблюдался выход нефтепродуктов на дневную поверхность и в реку Белая. Результаты гидрогеологических изысканий, проведенных на вышеуказанной площадке, показали, что в грунтах зоны аэрации обнаружены техногенные залежи нефтяных УВ (в виде линз), представляющих потенциальную опасность для качества подземных и поверхностных вод [7].

Поскольку расположенный на участке промышленный узел включает различные производственные объекты, установление источника загрязнения представляет собой сложную задачу. В данной работе представлены результаты исследования нефтяных УВ, отобранных на месте их выхода на дневную поверхность.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись пробы нефтяных УВ, отобранных в левобережной части реки Белая в районе г. Ишимбая и на месте их выхода на поверхность вблизи д. Кантюковки (родники), сырье,



используемое предприятиями, и продукты переработки нефти.

Идентификацию проводили сопоставлением физических и химических показателей отобранных проб с соответствующими характеристиками товарных нефтепродуктов и используемого сырья. Следует отметить, что при идентификации нефтяных УВ были учтены рекомендации [8], основанные на последовательном применении инфракрасной спектроскопии (ИК-спектроскопии) и газожидкостной хроматографии (ГЖХ).

На предварительном этапе исследований с использованием ИК-Фурье спектроскопии проводили идентификацию качественного состава нефтяных УВ, отобранных из предполагаемых источников загрязнения, и их сопоставление с образцами товарных продуктов и сырья, хранящимися на территории исследуемых предприятий.

Состав нефтяных УВ исследовали методом ГЖХ высокого разрешения. При сравнении хроматограмм рассматривали состав *n*-алканов, а также соотношения высот или площадей пиков. Особое внимание уделялось определению специфических компонентов, характерных для сырья и готовой продукции нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Это фенолы, присадки к бензинам (например, метилтретбутиловый эфир (МТБЭ)), сераорганические, ароматические и другие соединения. Анализ проб на содержание этих ингредиентов проводили методом хромато-масс-спектрометрии (ХМС). В пробах нефтепродуктов и образцов для сравнения определяли также плотность, содержание валовой серы и свинца [9–11]. Содержание растворенных и эмульгированных нефтепродуктов в пробах воды определяли методом ИК-спектрометрии [12].

Отбор проб сырья, нефти, нефтепродуктов, нефтяных УВ, воды проводили в соответствии с ГОСТ [13–15]. Жидкие пробы сырья, нефти и продуктов ее переработки, а также нефтяных УВ, отобранных с поверхности воды из скважин, разливали в чистые сухие стеклянные банки с винтовыми крышками с прокладками, не растворяющимися в нефти или нефтепродукте, заполняя их не более чем на 90 % вместимости.

Часть отобранных проб представляла собой двухфазную систему, верхний слой которой — это подвижная жидкость от светло-желтого до коричневого цвета с запахом нефтепродуктов, а нижний слой — вода с большим содержанием взвеси. В таких случаях пробы декантировали, отделяя верхний углеводородный слой от нижнего — водного слоя.

При идентификации необходимо также знание химического и фракционного состава нефтей. Определение фракционного состава нефтяных УВ проводили согласно ГОСТ 16]. Сущность метода заключается в перегонке 100 см³ исследуемого образца и

проведении постоянных наблюдений за температурой перегонки и объемами конденсата. После того как отмечали температуру начала кипения, т. е. момент падения первой капли конденсата, регулировали нагрев с таким расчетом, чтобы скорость перегонки от 5 %-ного отгона до получения 95 %-ного отгона в мерный цилиндр была постоянной. Поскольку природа исследуемых проб нефтяных УВ заранее была неизвестна, то при определении фракционного состава фиксировали температуру начала и конца кипения, а также значения температур, соответствующих каждому 10 % отгона.

Обсуждение результатов

Для исследования возможных путей поступления нефтяных УВ на дневную поверхность от предполагаемых источников загрязнения была пробурена сеть поисковых скважин (всего 32 скважины) по пяти направлениям (рис. 1). Каждое направление включает несколько скважин и ориентировано на местности таким образом, чтобы последовательно отсекал возможные пути выхода нефтепродуктов на дневную поверхность.

В пробах воды, отобранных из поисковых скважин, было проведено определение концентрации растворенных и эмульгированных нефтепродуктов. Результаты анализа представлены в табл. 1.

Видно, что во всех пробах подземных вод установлено присутствие нефтепродуктов в широком диапазоне концентраций (за исключением тех скважин, в которых вода отсутствовала). Полученные результаты позволили оценить степень загряз-

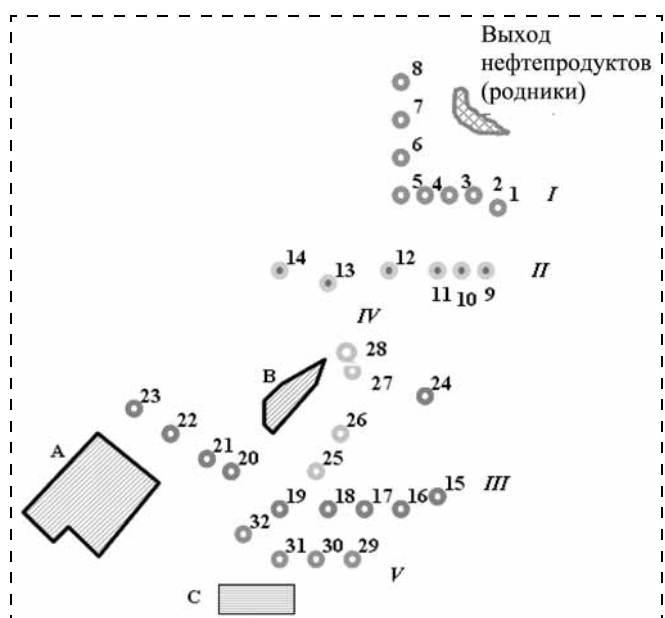


Рис. 1 Схема расположения поисковых скважин: 1–32 — скважины; I–V — направления скважин; А, В, С — промышленные объекты

Содержание нефтепродуктов в подземных водах, отобранных из поисковых скважин в зоне влияния нефтехимических предприятий

Концентрация нефтепродуктов, мг/дм ³ ($n = 3$ при $p = 0,95$)											
I						II					
Скв. 1	Скв. 2	Скв. 3	Скв. 4	Скв. 5	Скв. 6	Скв. 7	Скв. 8	Скв. 9	Скв. 10	Скв. 11	Скв. 12
0,69 ± 0,19	7,5 ± 1,8	10,2 ± 2,4	4,7 ± 1,1	0,80 ± 0,22	Н.в.	0,56 ± 0,16	Н.в.	0,60 ± 0,17	5,25 ± 1,26	6,66 ± 1,60	5,06 ± 1,21
II			III								
Скв. 13	Скв. 14	Скв. 15	Скв. 16	Скв. 17	Скв. 18	Скв. 19	Скв. 20	Скв. 21	Скв. 22	Скв. 23	
Н.в.	4,0 ± 0,96	0,12 ± 0,05	0,42 ± 0,12	6,16 ± 1,48	53,3 ± 5,3	55,3 ± 5,5	1,02 ± 0,24	2,6 ± 0,62	0,15 ± 0,06	3,0 ± 0,7	
III		IV				V					
Скв. 24	Скв. 25	Скв. 26	Скв. 27	Скв. 28	Скв. 29	Скв. 30	Скв. 31	Скв. 32			
1,98 ± 0,48	522 ± 52	480 ± 48	16,1 ± 3,9	45,0 ± 4,5	21,4 ± 5,14	56,6 ± 5,7	Н.в.	1,64 ± 0,39			

Примечание: Н.в. — в скважине был установлен только слой УВ, вода в скважине отсутствовала, поэтому концентрация растворенных и эмульгированных в воде нефтепродуктов не определялась; n — число определений.

ненности подземной гидросферы нефтепродуктами и свидетельствуют о повсеместном их распространении в подземных горизонтах.

Согласно ГОСТ [16] фракционный состав нефтепродуктов является одним из критериев для установления области их применения. По пределам кипения можно определить принадлежность нефтепродуктов к тем или иным товарным продуктам, т. е. для данного нефтепродукта существует зависимость между степенью отгона и температурой. Результаты исследования фракционного состава образцов сырья, товарных продуктов и проб нефтепродуктов, отобранных из скважин и на месте их выхода на дневную поверхность (родники), приведены на рис. 2.

На рис. 2 представлены также кривые, показывающие состав нефтепродуктов, отобранных из скважин, предназначенных для откачки подзем-

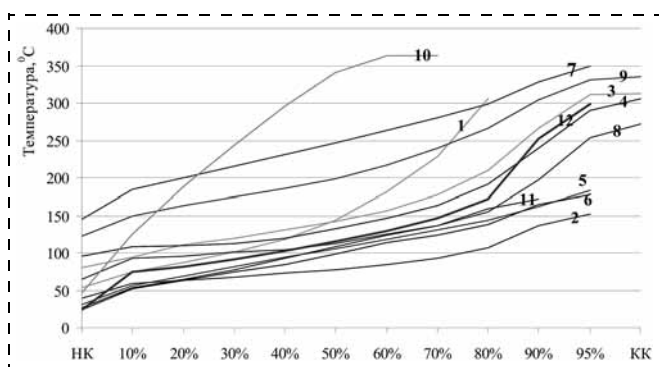


Рис. 2 Результаты определения фракционного состава сырья, товарных продуктов и проб, отобранных в районе выхода нефтяных углеводородов на дневную поверхность (НК — начало кипения; КК — конец кипения):

1 — газовый конденсат в смеси с нефтью; 2 — дистиллят газового конденсата; 3 — третий родник; 4 — первый родник; 5 — бензин Н-80; 6 — бензин П-95; 7 — дизтопливо; 8 — скважина для откачки УВ; 9 — второй родник; 10 — сырая нефть; 11 — бензин Р-92; 12 — скважина № 2

ных скоплений углеводородов с целью дальнейшей их переработки.

Анализ кривых показывает, что фракционный состав проб неизвестных нефтепродуктов в целом не совпадает ни с одним из исследованных товарных продуктов и сырья. Однако на отдельных участках в области легких компонентов профиль кривых совпадает. Так, схожими по фракционному составу являются образцы газового конденсата, бензинов и исследованных проб из скважин и родников. Сравнение состава нефти и нефтепродуктов, отобранных из родников, также подтверждает, что эти пробы являются смесью более легких нефтяных фракций (пробы отгоняются практически полностью до -330 °С — кривые 3, 4 и 9).

На следующем этапе исследований для идентификации нефтепродуктов использовали ИК-спектрометрию, основанную на выявлении основных и специфических функциональных групп органических веществ. При этом основное внимание при рассмотрении ИК-спектров уделяли области электромагнитного спектра в диапазоне волновых чисел от 4000 до 650 см⁻¹, поскольку этот участок охватывает поглощение, обусловленное колебаниями почти всех обычных группировок органических соединений. Однако при сравнении ИК-спектров проб нефтяных УВ и образцов для сравнения установить различие между ними не удалось. Все спектры были схожими по конфигурации пиков, что, вероятно, объясняется наличием одного и того же набора функциональных группировок (СН-, СН₂-, СН₃- и др.), присущих нефтяным УВ.

В связи с этим методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ) было проведено исследование компонентного состава отобранных проб и сравнение полученных данных с составом известных образцов нефтепродуктов и используемого сырья. При сопоставлении хроматограмм рассматривали



их характерный общий вид, выделяли особенности геометрической формы групп пиков, затем изучали отдельные участки хроматограмм и рассчитывали соотношения высот или площадей между индивидуальными веществами.

На рис. 3 приведена хроматограмма пробы, отобранной из скважины № 2, в которой был обнаружен наибольший слой нефтепродуктов, а на рис. 4 — хроматограмма пробы, отобранной на месте их выхода с грунтовыми водами на дневную поверхность.

Сравнение рисунков показывает, что на хроматограммах зафиксированы четко выраженные пики н-алканов с четным и нечетным числом атомов

углерода. В обоих пробах обнаружены изопреноидные реликтовые УВ — пристан и фитан, так называемые биомаркеры нефти.

Из рисунков видно также, что начальные участки хроматограмм в области легких УВ являются схожими, однако эти пробы различаются между собой по соотношению легких C_7 — C_{10} и более тяжелых C_{11} — C_{24} УВ. Между пиками н-алканов зафиксированы менее выраженные пики C_{11} — C_{24} изомерных углеводородов.

Для выявления сходства или различия анализируемых проб между собой и с образцами для сравнения проведено также детальное исследование

отдельных фрагментов хроматограмм. В пробах обнаружены ингредиенты, входящие в состав газового конденсата, бензинов и дизельного топлива (табл. 2). Так, проба, отобранная из скважины 2, пробуренной в непосредственной близости от места выхода нефтяных УВ на дневную поверхность и в которой обнаружен наибольший слой нефтепродуктов, характеризуется высоким содержанием пентана и изопентана, наличием ароматических соединений и т. д.

Также были исследованы и сопоставлены между собой образцы сырья, бензинов, дизельного топлива, проб нефтепродуктов, отобранных из различных скважин. Это позволило выявить сходство и различие проб нефтяных УВ, поступающих с грунтовыми водами на поверхность в районе д. Кантюковки, с образцами товарных нефтепродуктов и используемого нефтехимическими предприятиями сырья. Установлено, что пробы, отобранные на месте их выхода на поверхность, представляют собой смесь нефтепродуктов и содержат компоненты газового конденсата с нефтью (это подтверждается наличием на хроматограммах интенсивных пиков легких УВ, большим содержанием пентана, изопентана, пристана, фитана, серосодержащих соединений) и бензинов (по наличию ароматических соединений и МТБЭ).

Из табл. 2 видно, что в нефтепродуктах, отобранных из скважины № 2 и из родников № 2 и 3, обнаружено повышенное по сравнению с другими исследованными пробами содержание свинца. Присутствие этого компонента свидетельствует о примеси в исследованных образцах этилированного бензина, производство которого в настоящее время запрещено, т. е. о длительном характере загрязнения подземных горизонтов.

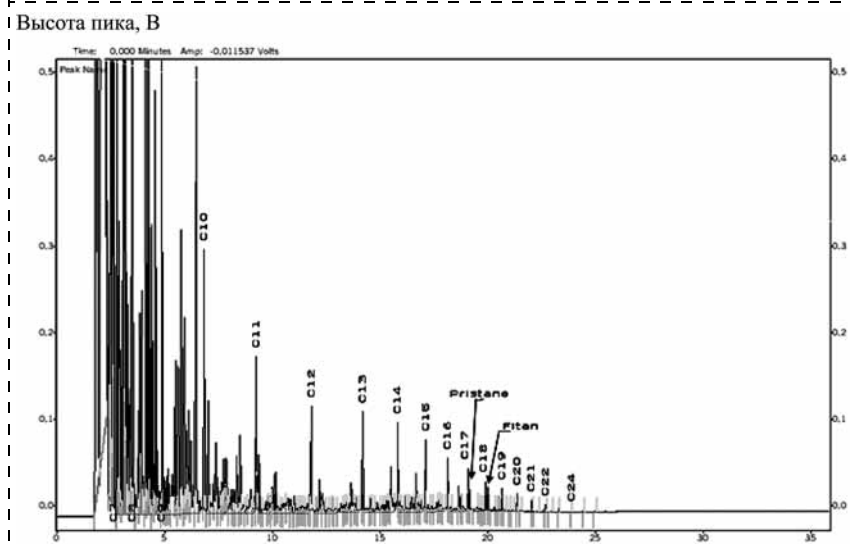


Рис. 3. Хроматограмма проб нефтяных углеводородов, отобранных из скважины 2 (C_{10} — декан; C_{11} — ундекан; C_{12} — додекан; C_{13} — тридекан; C_{14} — тетрадекан; C_{15} — пентадекан; C_{16} — гексадекан; C_{17} — гептадекан; C_{18} — октадекан; C_{19} — нонадекан; C_{20} — эйкозан; C_{21} — генэйкозан; C_{22} — докозан; C_{24} — тетракозан)

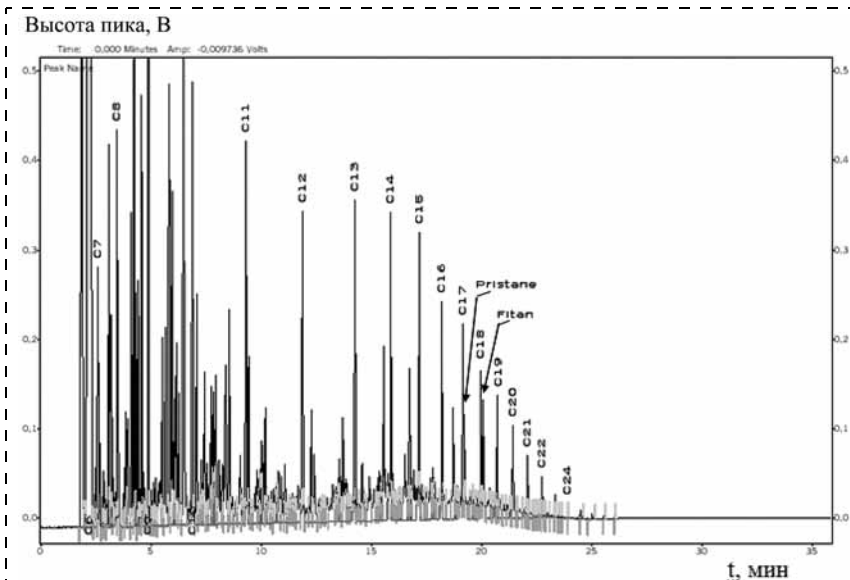


Рис. 4. Хроматограмма пробы нефтяных УВ, отобранной на месте выхода нефтяных углеводородов на дневную поверхность у д. Кантюковки (наименования компонентов приведены на рис. 3)

Результаты идентификации нефтяных углеводородов, отобранных на месте выхода их на поверхность в зоне влияния нефтехимических предприятий

Определяемые показатели	Образцы для сравнения							Пробы нефтяных УВ, отобранных на месте выхода их на поверхность				
	Сырая нефть	Газо- вый конден- сат с нефтью	Бен- зин Н-80	Бен- зин Р-92	Бен- зин П-95	Ди- зель- ное топли- во	Дис- тиллят газо- вого конден- сата	Скважины для откачки нефтяных УВ	Скважи- на № 2	Родники на месте выхода нефтяных УВ		
										№ 1	№ 2	№ 3
Плотность при 20 °С, кг/м ³	873	768	745	725	755	829	703	728...758,5	745	770,5	812	768,5
Содержание Рв, мг/дм ³	0,220	0,185	0,080	0,380	0,080	0,530	0,211	0,13...3,43	81	0,215	33,6	14,1
Содержание S, мг/кг	4047	1200	<10	<10	<10	502	<10	200...1533	798	15	928	304
Σ фенолов*, мг/дм ³	3,187	4,980	5,920	11,365	8,023	0,750	0,020	0,060...3,838	0,397	1,086	0,340	0,456
Пентан, %**	2,94	7,21	1,69	3,97	4,64	—	6,13	0,14...1,84	8,1	0,22	—	0,46
Изопентан, %	2,26	6,48	1,33	7,64	8,94	—	4,75	0,08...1,45	8,2	0,07	—	0,17
Бензол, г/дм ³	0,22	0,9	1,86	1,91	1,45	—	11,76	0,01...0,56	1,72	0,69	0,08	0,88
Толуол, г/дм ³	1,33	2,48	8,16	5,36	9,29	0,30	14,9	2,1...5,33	3,17	7,68	4,18	5,94
Ксилолы, г/дм ³	5,37	2,54	11,72	6,15	7,76	8,41	7,04	3,88...13,78	2,24	9,31	13,22	7,11
Наличие МТБЭ	—	—	+	+	+	+	-	+	—	+	—	+
Наличие органичес- ких сульфидов	—	—	—	—	—	—	-	+	—	—	—	—

*Σ фенолов — содержание в водной вытяжке, мг/дм³.
** Доля пентана и изопентана (%) в общей массе УВ.

Во всех пробах воды, отобранных из скважин, обнаружены н-алканы, изоалканы, непредельные УВ, ароматические соединения, нафтены, алкилфенолы (антиоксиданты, применяемые в качестве добавок к бензинам) и МТБЭ.

Заключение

Исследование подземных вод в зоне влияния нефтехимических предприятий показало, что во всех пробах воды обнаружены нефтепродукты. Идентификация нефтяных углеводородов, отобранных на месте их поступления с грунтовыми водами на поверхность, показала, что эти пробы представляют собой смесь товарных нефтепродуктов и используемого нефтехимическими предприятиями сырья. Полученные данные позволили установить временной характер поступления нефтяных УВ (современные или отдаленные поступления), а также оценить возможные пути их миграции в подземных горизонтах.

Результаты исследования могут быть использованы при планировании экологических мероприятий по реабилитации загрязненных территорий.

Список литературы

1. **Немировская И. А., Аникиев В. В., Теобальд Н., Раве А.** Идентификация нефтяных углеводородов в морской среде

- при использовании различных методов анализа // Журн. аналит. химии. 1997. — Т. 752. — № 4. — С. 392—396.
2. **Музалевский А. А.** К вопросу об идентификации источников загрязнения водной среды нефтепродуктами // Журн. аналит. химии. — 1999. — Т. 54. — № 12. — С. 1244—1250.
3. **Бродский Е. С., Лукашенко И. М., Калинин Г. А., Тибилова Н. И., Залетина М. М.** ХМС исследование органических загрязнений р. Москвы // Токсикологический вестник. — 1997. — № 4. — С. 19—22.
4. **Бродский Е. С., Лукашенко И. М., Калинин Г. А., Савчук С. А.** Идентификация нефтепродуктов в объектах окружающей среды с помощью газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии // Журн. аналит. химии. — 2002. — Т. 57. — № 6. — С. 592—596.
5. **Бродский Е. С., Лукашенко И. М., Калинин Г. А., Тибилова Н. И.** Антропогенное загрязнение и самоочищение р. Оки. // Токсикологический вестник. — 1998. — № 3. — С. 21—26.
6. **Сафарова В. И.** Дис. ... д-ра хим. наук. 03.00.16 КГТУ. — Казань, 2005. — 342 с.
7. **Фаухутдинов А. А., Сафарова В. И., Ткачев В. Ф., Магасумова А. Т., Шайдулина Г. Ф., Сафаров А. М., Колчина А. А., Шихова Л. К., Теплова Г. И.** Влияние объектов нефтедобычи и нефтепереработки на качество природных вод // Башкирский хим. журнал. — 2008. — Т. 15. — № 1. — С. 87—93.
8. **Инструкция** по идентификации источника загрязнения водного объекта нефтью. МПР РФ. Пр. № 241 от 02.08.94. — М., 1994. — 84 с.
9. **ГОСТ 3900—85 (СТ СЭВ 67546—89).** Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности. Государственный комитет СССР по стандартам. — М.: Изд-во стандартов, 1991.
10. **ГОСТ 1437—75.** Нефтепродукты темные. Ускоренный метод определения серы. Государственный комитет СССР по стандартам. — М.: Изд-во стандартов, 1988.
11. **Методика** выполнения измерений массовой доли Na, Si, Al, Zn, Sr, Co, Mg, V, Fe, Ni, Pb, Mn и Cu в пробах нефти



- атомно-абсорбционным методом. М 02-902-99—2006. — С.-Пб.: ФГУП РНЦ "ПХ", 2006.
12. ПНД Ф 14.1:2:4.5—95. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в природных и сточных водах методом ИК-спектрофотометрии.
 13. ГОСТ 2517—85 (СТ СЭВ 1248—78). Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб. Государственный комитет СССР по стандартам. — М.: Изд-во стандартов, 1986.

14. ГОСТ Р 51592—2000. Вода. Общие требования к отбору.
15. ГОСТ 17.1.5.05—85. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков.
16. ГОСТ 2177—99 (ИСО 3405—88). Межгосударственный стандарт. Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск: ИПК. М.: Изд-во стандартов, 1999.

УДК 504

И. Р. Галинуров¹, А. М. Сафаров², канд. техн. наук, **Р. М. Хатмуллина¹**, канд. хим. наук, **Н. Р. Минигазимов³**, д-р техн. наук, **Д. Х. Зиганшина¹**

¹ Управление государственного аналитического контроля

² Уфимский государственный нефтяной технический университет

³ Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа

E-mail: hatmullina_rm@mail.ru

Исследование способности почв к самоочищению от нефтяного загрязнения

Приведены данные исследования деградации нефтяных углеводородов в различных типах почв. Выявлены критерии, позволяющие оценить степень деградации нефти в природных средах.

Ключевые слова: нефть, почва, пойменные почвы, углеводороды, n-алканы, пристан, фитан

Galinurov I. R., Safarov A. M., Khatmullina R. M., Minigazimov N. R., Ziganshina D. Kh. *The analysis of autopurification soil ability from oil contaminant*

The analysis of oil hydrocarbons degradation at various soil types are carried out. Criterias that allow estimating the level of oil degradation at natural objects are determined.

Keywords: oil, soil, floodplain soils, hydrocarbons, n-alkanes, pristane, phytane

Загрязнение природных объектов нефтью и продуктами ее переработки является одной из самых серьезных экологических проблем. Нефтяная промышленность относится к числу отраслей, загрязняющих окружающую среду нефтью и нефтепродуктами на всех этапах полного жизненного цикла нефти (ЖЦН): от момента добычи до утилизации нефтяных отходов. Важным этапом ЖЦН является транспортирование нефти от места ее добычи до нефтеперерабатывающих заводов. Экологическая опасность данного этапа ЖЦН обусловлена высокой аварийностью трубопроводной системы.

Неизбежным последствием аварийных ситуаций на трубопроводах является загрязнение неф-

тью и нефтепродуктами почв и грунтов. При попадании нефти нарушаются полезные свойства почвы. В то же время естественное происхождение нефти позволяет предполагать, что защитные свойства природных экосистем обеспечат со временем их восстановление до исходного состояния.

Естественное самоочищение почв от нефтяного загрязнения зависит от природно-климатических условий и может длиться несколько десятков лет. С нефтью, попавшей в природные среды, происходят процессы, приводящие к изменению ее состава. Нефть подвержена "старению" из-за испарения наиболее легких компонентов, химического окисления и биоразложения. В итоге исходная нефть теряет свои свойства, снижается ее концентрация, а загрязненные почвы восстанавливаются.

В данной статье представлены результаты исследования самоочищающей способности различных типов почв от нефтяных углеводородов (УВ) в условиях лабораторного эксперимента. В качестве среды депонирования нефтяных УВ использовали верхние органогенные горизонты трех типов почв: аллювиальной (пойменной) почвы, выщелоченного чернозема и темно-серой лесной почвы.

Пойменные (аллювиальные) почвы формируются в процессе размывающей деятельности воды — переноса и осаждения на поверхности во время паводка взвешенных частиц, что определяет характер водно-воздушного режима [1—4].

Черноземы — богатые гумусом почвы, сформированные в условиях степи и лесостепи. Черноземы выщелоченные формируются под луговой разнотравно-злаковой растительностью на увлажненных участках степей и характеризуются мощным

гумусовым горизонтом (70...90 см), высоким содержанием гумуса (6—10 %) гуматно-фульватного состава и вымытостью карбонатов [1]. Для выщелоченных черноземов характерна интенсивно темная, почти черная окраска верхнего горизонта. Важным показателем выщелоченных черноземов является глинисто-иллювиальный текстурный горизонт в подгумусовой толще [3, 4].

Темно-серые лесные почвы формируются в лесостепной зоне и близки по свойствам к черноземам. Они характеризуются значительной аккумуляцией органического вещества, мощным гумусовым горизонтом, фульватно-гуматным составом гумуса, слабой кислотностью и слабой морфологической и химической дифференциацией профиля [1].

В почвах присутствуют УВ естественного происхождения, повышенное содержание которых в почве может быть связано не только с техногенным воздействием. Среди факторов, обуславливающих присутствие УВ в почвах, значительную роль играют естественные биохимические и физико-химические процессы. Существенны также и процессы, обеспечивающие появление органического вещества (в том числе УВ) вместе с атмосферными осадками, с поверхностным стоком в результате дренирования торфов и почв, а также при восходящем фильтрационном диффузионном массопереносе из нефтяных и газовых залежей по зонам разломов и трещин осадочной толщи земной коры [5—9].

В связи с этим перед началом исследований во всех образцах почвы определяли содержание УВ природного происхождения. Каждый образец почвы делили на две части. Одну часть оставляли в воздушно-сухом состоянии, другую подвергали термостатированию в течение 8 ч при температуре 105 °С. Известно, что при повышенных температурах происходит пастеризация среды, поэтому предполагалось, что исследование термостатированных и нетермостатированных образцов почвы позволит оценить вклад микробиологических факторов в деградацию нефти.

В подготовленные образцы почв вносили нефть (125 г/кг почвы). Таким образом, было получено шесть образцов, загрязненных нефтяными УВ (по два образца каждого типа почв). Полученные пробы гомогенизировали и оставляли на открытом воздухе в помещении лаборатории. Образец исходной нефти экспонировался в тех же условиях. Анализ образцов почвы проводили ежедневно в течение 10 дней после начала эксперимента, затем через каждые 10 дней в

течение трех месяцев и далее — через каждый месяц. В ходе исследования измеряли температуру окружающей среды, освещенность — естественную и искусственную (с использованием ламп дневного света). На протяжении всего эксперимента периодически осуществляли рыхление почвы и увлажнение. Наблюдения за процессом изменения содержания УВ нефти в почвах проводили в течение 210 дней.

Для оценки самоочищающей способности почвы при нефтяном загрязнении в работе рассматривались относительное содержание *n*-алканов $C_8—C_{24}$ и изопреноидов — пристана и фитана, соотношения четных и нечетных УВ и расчет индекса нечетности (CPI — carbon preference index).

Анализ проб проводили методом газожидкостной хроматографии с пламенно-ионизационным детектором. Разделение УВ выполняли на капиллярной колонке в режиме программирования температуры. Обработку полученных данных проводили следующим образом: рассчитывали площади пиков *n*-алканов $C_8—C_{24}$ и изопреноидов на хроматограммах и определяли долю каждого вещества в общем содержании этих соединений. Полученные значения использовали для изучения закономерностей изменения состава нефти в термостатированных и нетермостатированных образцах почв.

На рис. 1 приведена хроматограмма *n*-алканов, пристана и фитана, выделенных из почвы через 24 часа после экспозиции. Обычно на хроматограмме образцов нефтяных УВ обнаруживается большое количество разветвленных алканов, циклоалканов, которые составляют так называемый

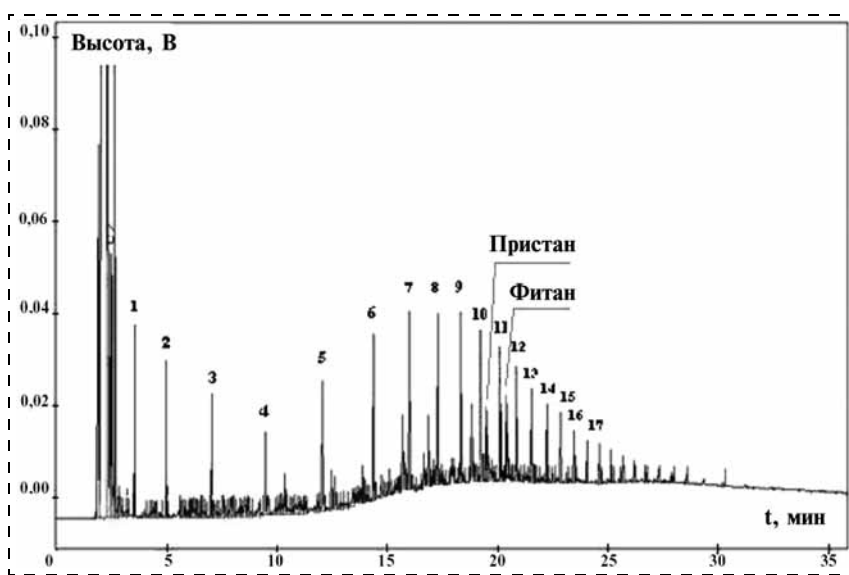


Рис. 1. Хроматограмма разделения изопреноидов (пристана и фитана) и *n*-алканов (1 — октан; 2 — нонан; 3 — декан; 4 — ундекан; 5 — додекан; 6 — тридекан; 7 — тетрадекан; 8 — пентадекан; 9 — гексадекан; 10 — гептадекан, пристан; 11 — октадекан; фитан; 12 — нонадекан; 13 — эйкозан; 14 — генэйкозан; 15 — докозан; 16 — трикозан; 17 — тетракозан), выделенных из пробы пойменной почвы в день экспозиции нефти



горб из неразделенных компонентов. На фоне этих веществ, имеющих меньшую интенсивность, выделяется линейка пиков n-алканов с четным и нечетным числом атомов углерода (см. рис. 1). Рядом с пиками гептадекана ($C_{17}H_{36}$) и октадекана ($C_{18}H_{38}$) обнаруживаются пики изопреноидов — пристана и фитана. В нефтепродуктах, подвергшихся "старению", меняется относительное содержание этих компонентов. На рис. 2 показана динамика относительного содержания нефтяных УВ в образцах загрязненных почв и исходной нефти. Из рисунка видно, что распределение нефтяных УВ, выделенных из всех типов почвы в первые дни эксперимента, имеет один и тот же характер.

Исследования показали, что изменение состава УВ происходит уже после пяти суток экспозиции нефти в почву, в первую очередь, уменьшается по сравнению с исходными образцами относительное содержание n-алканов $C_8—C_{10}$. В первые дни эксперимента отмечается практически полное отсутствие различия в характере распределения между относительным содержанием n-алканов в термостатированных и нетермостатированных образцах почвы. Это свидетельствует о том, что при залповом нефтяном загрязнении подавляется деятельность почвенных микроорганизмов. Таким образом, деградация нефти в почве в этот период определяется влиянием физических факторов, т. е. изменение углеводородного

состава после залпового разлива нефти в почву происходит, в основном, из-за улетучивания более легких ее компонентов. Следует отметить также небольшие изменения, произошедшие в углеводородном составе в образце исходной нефти через 5 суток. За этот период на фоне снижения относительного содержания n-алканов $C_8—C_{10}$ отмечается повышение доли n-алканов $C_{12}—C_{15}$ (см. рис. 2, з).

Через 30 суток выдержки загрязненных образцов почвы в составе исследуемых компонентов происходят значительные изменения: отмечается практически полное отсутствие n-алканов $C_8—C_{10}$ и четко выраженный максимум среди пиков исследуемых соединений, который приходится на $C_{15}H_{32}$; наблюдается рост относительного содержания пристана и фитана; фиксируется различие в углеводородном составе в термостатированных и нетермостатированных образцах почв. Так, в термостатированных образцах темно-серой лесной почвы и выщелоченного чернозема по сравнению с нетермостатированными относительное содержание легких n-алканов больше, чем относительное содержание более тяжелых. Кроме того, на кривых распределения (см. рис. 2) видно изменение относительного содержания пристана и фитана. В образце темно-серой лесной почвы это изменение наиболее заметно, при этом рост доли фитана происходит с большей скоростью, чем рост содержания пристана. Вероятно, это связано с тем, что в составе исходной нефти содержание фитана больше, чем относительное содержание пристана. В термостатированных и нетермостатированных образцах пойменной почвы распределение ис-

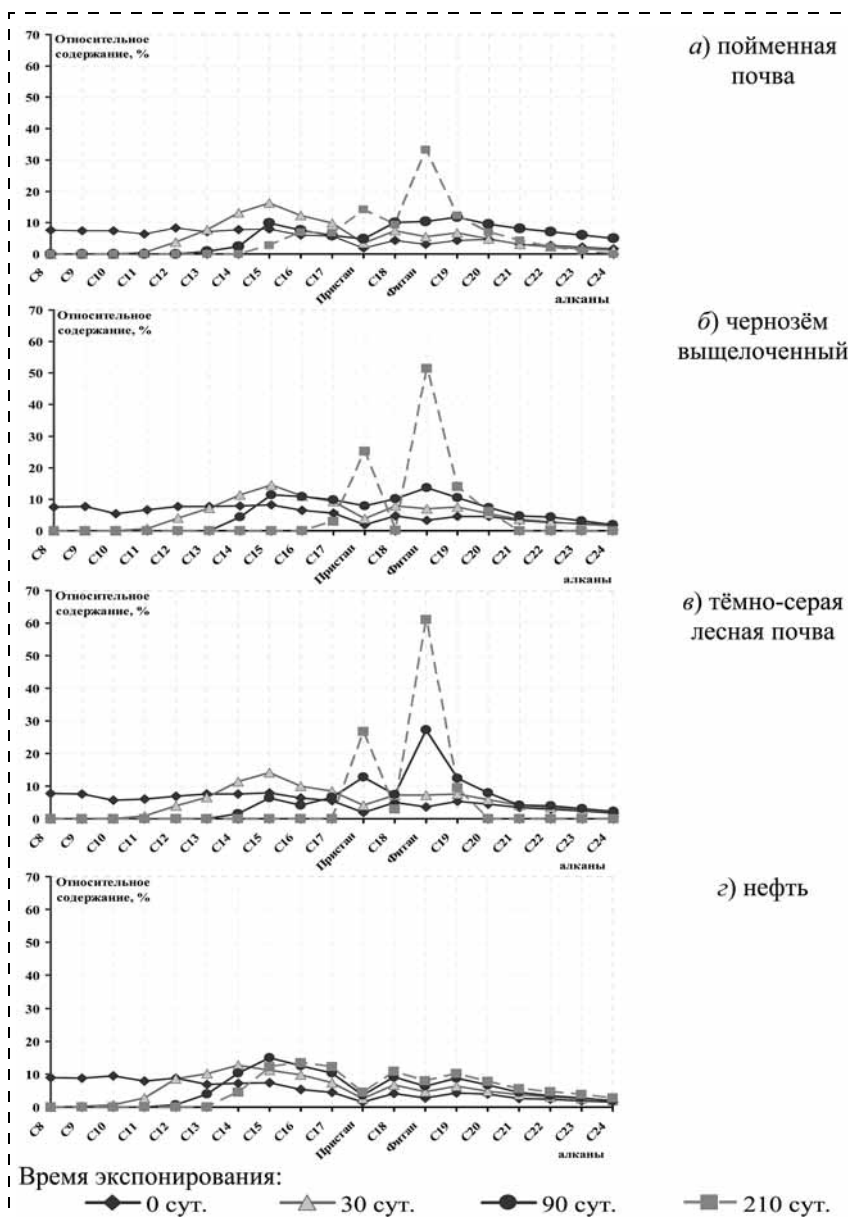


Рис. 2. Динамика относительного содержания нефтяных УВ в образцах загрязненных почв (нетермостатированных) и исходной нефти в зависимости от времени депонирования

следуемых компонентов через 30 суток имеет одинаковый характер, из чего можно сделать предположение, что пойменные почвы восстанавливаются гораздо медленнее, чем другие сравниваемые типы почв.

Таким образом, можно отметить, что вследствие потери более летучих n -алканов C_8-C_{10} токсичность нефти снижается, микробное сообщество темно-серой лесной почвы и выщелоченного чернозема становится способным к ассимиляции менее токсичных высокомолекулярных n -алканов.

После 60 суток эксперимента тенденция изменения соотношения легких и тяжелых УВ во всех образцах почвы сохраняется. Однако относительное содержание фитана по сравнению с пристаном в образце темно-серой лесной почвы увеличивается с большей скоростью, чем в других образцах почв, т. е. в этих почвах в условиях эксперимента деградация нефтяных УВ происходит интенсивнее. Различия в относительном содержании исследованных УВ в термостатированных и нетермостатированных образцах пойменной почвы не выявляется.

В образце исходной нефти через 60 суток также увеличилось различие между относительным содержанием легких n -алканов и более тяжелых УВ. Заметно уменьшилась доля n -алканов C_8-C_{11} и увеличилось относительное содержание n -алкана C_{15} (от ~9 до ~16 %) и других высокомолекулярных УВ.

После 90 суток выдерживания нефтезагрязненной почвы из образцов темно-серой лесной почвы и выщелоченного чернозема исчезли n -алканы C_8-C_{13} , из образцов пойменной почвы — C_8-C_{12} . В темно-серой лесной почве появился четко выраженный максимум фитана, возросло относительное содержание пристана. В пойменной почве и выщелоченном черноземе рост относительного содержания этих соединений происходит с меньшей интенсивностью, при этом увеличение содержания изопреноидов, являющихся одним из показателей степени трансформации нефти под воздействием внешней среды, с наименьшей скоростью происходит в образце пойменной почвы. Необходимо отметить, что в этот период становится заметным отличие в относительном содержании исследуемых алканов в термостатированной и нетермостатированной пробах пойменной почвы.

В образце исходной нефти через 90 дней практически исчезли n -алканы C_8-C_{12} , на кривой распределения УВ появляется несколько максимумов, которые приходятся на n -алканы C_{15} , C_{18} и C_{19} . Однако относительное содержание пристана и фитана меньше, чем содержание n -алканов $C_{17}-C_{19}$, между которыми они обнаруживаются на хроматограмме.

После 150 и 180 суток экспозиции нефти в темно-серой лесной почве и выщелоченном черноземе характер преобразований нефтяных УВ сохраняется, при этом уменьшается различие в относительном содержании изопреноидов в термостатированных и

нетермостатированных образцах. В образце пойменной почвы незначительно увеличивается доля фитана, однако относительное содержание пристана практически не меняется.

Поскольку фитан и пристан являются "биологическими метками" нефти, т. е. соединениями биогенного происхождения, их выявление в исследуемых пробах будет подтверждением нефтяного происхождения загрязнения, а более высокое относительное содержание по сравнению с n -алканами может свидетельствовать о давности поступления нефти в почву. Кроме того, известно, что в морских нефтях обычно преобладает фитан, а в нефтях из континентальных отложений — пристан [9]. Таким образом, можно сделать предположение, что рост относительного содержания пристана в исследованных почвах связан с временным периодом, необходимым для восстановления микробиологической активности разных типов почв. Например, для пойменной почвы это время максимально и составляет 150—180 суток.

Через 210 суток в образцах почвы, за исключением пойменной, практически не обнаруживаются n -алканы C_8-C_{16} , а относительное содержание n -алканов $C_{17}-C_{20}$ не превышает 20 %, фиксируются четко выраженные пики пристана и фитана. При этом относительное содержание пристана увеличилось от 2 до 14 % в пойменной почве, до 25 % в выщелоченном черноземе, до 27 % в темно-серой лесной почве. Относительное содержание фитана возросло от 3 до 33 % в пойменной почве, до 51 % в выщелоченном черноземе и до 61 % в темно-серой лесной почве. Во всех образцах почвы относительное содержание изопреноидов в нетермостатированных образцах выше, чем в термостатированных.

Таким образом, если оценивать трансформацию нефти в почве по возрастанию относительного содержания реликтовых УВ, в частности пристана и фитана, то в условиях эксперимента (периодическое рыхление почвы, полив водой, освещение) интенсивность процессов деградации нефти уменьшается в ряду: темно-серая лесная почва (до 90 суток) → выщелоченный чернозем (до 150 суток) → пойменная почва (210 суток).

Известно, что нечетные n -алканы $C_{21}-C_{31}$ в породах образуются из соединений, которые содержат четное число атомов углерода (n -алканы, высшие спирты, карбоновые кислоты). Преобразование высших спиртов и карбоновых кислот происходит в результате декарбоксилирования, вследствие чего углеродная цепь укорачивается на один атом углерода и соединение становится нечетным. Поэтому определение соотношения между четными и нечетными УВ дает возможность оценить влияние почвенной микрофлоры на деградацию нефтяных УВ [10, 11].

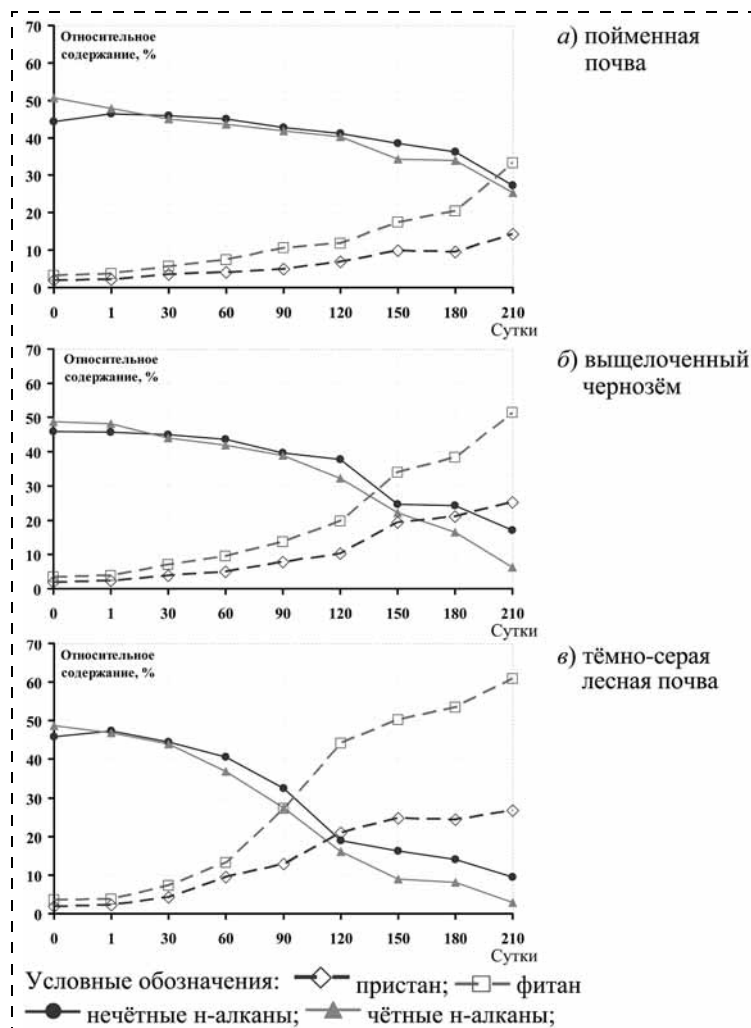


Рис. 3. Относительное содержание четных и нечетных n-алканов, пристана и фитана в образцах загрязненных нетермостатированных почв

На рис. 3 показано изменение соотношения четных и нечетных n-алканов, пристана и фитана в нетермостатированных образцах почв от времени, а на рис. 4 — в термостатированных образцах почв и нефти.

Из представленных выше данных следует, что в начале исследования относительное суммарное содержание нечетных насыщенных n-алканов меньше, чем четных n-алканов, что вполне закономерно, так как такое же распределение этих веществ характерно для исходной нефти. С течением времени при преобразовании нефтяных УВ меняется соотношение четных и нечетных n-алканов в сторону преобладания соединений с нечетным числом атомов углерода в молекуле. Этот процесс протекает интенсивнее в темно-серой лесной почве и выщелоченном черноземе и с наименьшей скоростью в пойменной почве.

Через 210 суток во всех типах почв преобладают нечетные n-алканы. Различие между относительным содержанием нечетных и четных алканов для

пойменной почвы составляет 3 %, для выщелоченного чернозема — 9 %, а для темно-серой лесной почвы — 7 %. Через 210 дней соотношение этих компонентов в образце нефти практически выравнивается. Снижение доли n-алканов сопровождается повышением доли пристана и фитана. По пересечению кривых на графике можно оценить скорость преобразования нефтяных УВ в образцах почвы и нефти. Так, в сравнении с другими образцами в темно-серой лесной почве преобразование структуры нефтяных УВ происходит заметно быстрее. При сравнении рис. 3 и 4 видно, что изменение соотношения четных и нечетных n-алканов, пристана и фитана с большей скоростью протекает в нетермостатированных образцах почв.

Если принять, что время, необходимое для улетучивания легких n-алканов, для всех типов почв примерно одинаково, и пренебречь процессами их химического окисления, то в условиях выполнения данного эксперимента, время для восстановления микробиологической активности, хотя бы частичной, темно-серой лесной почвы составляет около 90 суток, выщелоченного чернозема — 150 суток, пойменной почвы — 210 суток.

Для оценки преобразования биопродуктов органического вещества используют индексы СРІ (отношение содержания нечетных насыщенных n-алканов к четным), которые для нефтей близки к 1. В данном исследовании за индекс нечетности СРІ принято отношение суммы площадей нечетных n-алканов C_9-C_{23} к сумме площадей четных n-алканов C_8-C_{24} :

$$CPI = \frac{\sum S_{\text{нечетн}}}{\sum S_{\text{четн}}}$$

Для нетермостатированных образцов всех типов почвы и образца нефти в течение первых 120 суток значение СРІ практически одинаково и близко к 1. Затем в темно-серой лесной почве наблюдается резкое увеличение этой величины, которое через 210 суток достигает 3,2. В образце выщелоченного чернозема возрастание индекса СРІ начинается через 150 суток, и в конце исследования его значение составляет 2,7. Для пойменной почвы индекс нечетности варьирует в диапазоне 0,95...1,1 и практически равен индексу нечетности нефти (CPI = 0,94...1,1). В термостатированных образцах всех типов почвы значение СРІ изменяется от 0,94 до 1,5.

Таким образом, проведенным исследованием деградации нефтяных УВ в различных типах почв, установлено, что выветривание и улетучивание наиболее легких и токсичных соединений способствуют восстановлению и активизации деятельности микробиоло-

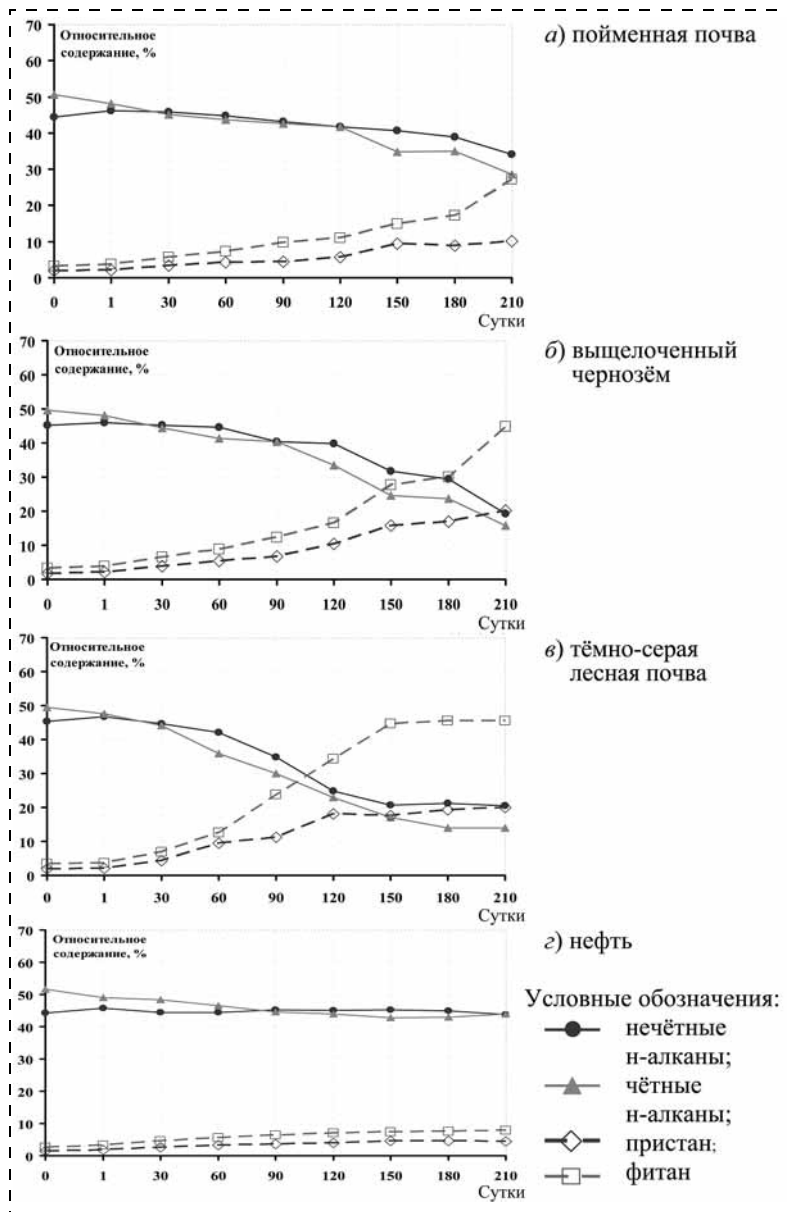


Рис. 4. Относительное содержание четных и нечетных n-алканов, пристана и фитана в образцах загрязненных почв (термостатированных) и нефти

гического сообщества деструкторов нефти. Скорость этого процесса зависит от типа почвы и выражается в изменении соотношений n-алканов и реликтовых углеводородов, в частности пристана и фитана, а также соотношений четных и нечетных n-алканов. Способность почв к самоочищению от нефтяного загрязнения снижается в ряду: темно-серая лесная почва → выщелоченный чернозем → пойменная почва.

Список литературы

1. Груздева Л. П., Яскин А. А., Тимофеев В. В. и др. Почвоведение с основами геоботаники. — М.: Агропромиздат, 1991. — 448 с.
2. Туровцев М. М., Меринов М. М. Почвы пойм Башкирской АССР. — Уфа: Башкирское книжное издательство, 1957. — 103 с.
3. Орлов Д. С., Садовникова Л. К., Лозановская И. Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: Учеб. пособие для спец. вузов. — М.: Высш. шк., 2002. — 334 с.
4. Одинцова Т. А. Разработка технологии идентификации и мониторинга нефтяных загрязнений: Автореф. дис. д-ра техн. наук. — М., 2010. — 21 с.
5. Рябов В. Д. Химия нефти и газа. — М.: Техника, ТУМА ГРУПП, 2004. — 288 с.
6. Давыдова С. Л., Тарасов В. И. Нефть и нефтепродукты в окружающей среде: Учеб. пособие. — М.: Изд-во РУДН, 2004. — 163 с.
7. Ахмедов А. Г., Ильин Н. П., Исмаилов Н. М., Пиковский Ю. И. Особенности деградации тяжелой нефти в светлых светло-коричневых почвах сухих субтропиков Азербайджана // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. — М.: Наука, 1982. — С. 217–225.
8. Оборин А. А., Калачникова И. Г., Масливец Т. Ф. Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. — М.: Наука, 1998. — С. 140–159.
9. Петров А. А. Углеводороды нефти. — М.: Наука, 1984. — 264 с.
10. Хежева Ф. В., Улигова Т. С. Оценка ферментативной активности черноземов естественных биоценозов степной зоны и горных районов Северного Кавказа // Землепользование. — Нальчик, Институт геологии горных территорий КБНЦ РАН, 2010. — С. 35–46.
11. Безносиков В., Кондратенко Б., Габов Д., Груздев И. Насыщенные углеводороды в почвах. // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. — 2007. — № 9. — С. 21–26.

Информация

IV ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ "ЗАЩИТА ОТ ПОВЫШЕННОГО ШУМА И ВИБРАЦИИ"

www.onlinereg.ru/noise2013

26–28 марта 2013 г., Санкт-Петербург

(Гостиница "Парк Инн Пулковская", Площадь Победы, 1)

Главными целями конференции являются обмен опытом и координация работ ученых и специалистов в области защиты от повышенного шума и вибрации. В дополнение к традиционным направлениям работы планируется уделить должное внимание проблемам повышенных уровней шума и вибрации на рабочих местах в различных отраслях экономики.

Контакты:

Секретарь оргкомитета конференции Карманова Вера Владимировна

Моб. тел.: +7 (921) 186-76-59. Раб. тел.: +7 (812) 710-15-73

E-mail: noisevibrationconference2013@gmail.com

УДК 627.835

Н. Н. Красногорская, д-р техн. наук, проф., **А. Н. Елизарьев**, канд. геогр. наук, доц.,
Э. С. Хаертдинова, асп., **Р. А. Бурцев**, студ.,
Уфимский государственный авиационный технический университет
E-mail: elizariev@mail.ru

Способ защиты грунтовой плотины от размыва

Рассмотрены основные причины аварийности грунтовых плотин. Для предотвращения размыва грунтовой плотины при паводке (наводке) предложен сифонный водосброс. В целях анализа эксплуатационных особенностей сифонного водосброса создана и описана лабораторная модель, на основе которой получена экспериментальная зависимость для определения пропускной способности предложенного сифонного водосброса.

Ключевые слова: грунтовая плотина, сифонный водосброс, пропускная способность

Krasnogorskaya N. N., Elizariev A. N., Khaertdinova E. S., Burtsev R. A. Way to protect the soil dam from washing out

In article the main reasons of failures on soil dams are considered. To prevent washing out of the soil dam at high water (flash flood) the siphon spillway is proposed. In order to analyse performance features of a siphon spillway laboratory model is created. The experimental dependence, allowing to define capacity of an offered siphon spillway is received.

Keywords: soil dam, siphon spillway, capacity

Территориальная неравномерность, большая внутригодовая и многолетняя изменчивость речного стока на территории Российской Федерации затрудняют обеспечение населения и экономики необходимым количеством воды. Как правило, проблема решается за счет регулирования стока рек водохранилищами, причем наиболее эффективное и многоцелевое использование водных ресурсов достигается за счет каскадного расположения водохранилищ, образующих единую водохозяйственную систему (например, Волжско-Камский и Ангаро-Енисейский каскады).

В настоящее время для регулирования речного стока на территории РФ построено около 30 000 водохранилищ и прудов общей вместимостью более 800 млрд м³, в том числе 2290 водохранилищ с объемом свыше 1 млн м³ каждое, из них 110 — крупнейших с объемом более 100 млн м³ каждое. Основная часть водоподпорных гидротехнических сооружений (ГТС) малых и средних водохранилищ представлена грунтовыми плотинами, доля кото-

рых составляет около 85 % от всех проектируемых и построенных в мире плотин [1].

Статистические данные по аварийности ГТС свидетельствуют о том, что количество гидродинамических аварий не имеет тенденции к уменьшению, причем основная часть связана с грунтовыми плотинами. По данным Международной комиссии по большим плотинам (SIGB), основными причинами аварий являются: неправильная оценка грунтов оснований и фундаментальной части сооружений (55 %); недостаточная пропускная способность водосбросов (23 %); низкая прочность конструкций (14 %); другие причины (8 %) [2, 3].

При выходе реки на пойму (паводке, наводке) и при недостаточной пропускной способности водосброса уровень воды в водохранилище достигает гребня грунтовой плотины в течение суток, что приводит к переливу воды с дальнейшим размывом тела плотины. Так, в июле 2012 г. в результате интенсивного выпадения осадков, вызвавшего наводнение в Краснодарском крае, уровень воды в верхнем бьефе Неберджаевского водохранилища с грунтовой плотинной поднялся за несколько часов на 6 м, увеличив объем водохранилища с 3 до 8 млн м³. Традиционные способы защиты плотин в таких случаях (дополнительный водосбросный канал, наращивание высоты плотины, бетонированные устройства для пропуска паводковых вод или водослива путем фильтрации через каменную наброску) неэффективны, так как их применение требует не только больших материальных и финансовых ресурсов, но и значительного времени для реализации.

В связи с этим для предотвращения перелива воды при паводке (наводке) и размыва тела плотины авторами предложено устройство сифонного водосброса, которое широко используется в практике гидротехнического строительства для обеспечения автоматического поддержания уровня верхнего бьефа в заданных пределах. Сифонные водосбросы различаются по конструкции и по механизму запуска, поэтому особенности устройства предлагаемого сифонного водосброса, защищенного патентом № 100528, поясняется схемой, представленной на рис. 1 [4].

Согласно предложенной модели сифонного водосброса (рис. 1) наполнение сифона происходит из наполнительного бачка 3, установленного на гребне плотины. Для вытеснения воздуха из сифона 2 установлен дополнительный патрубок 7.

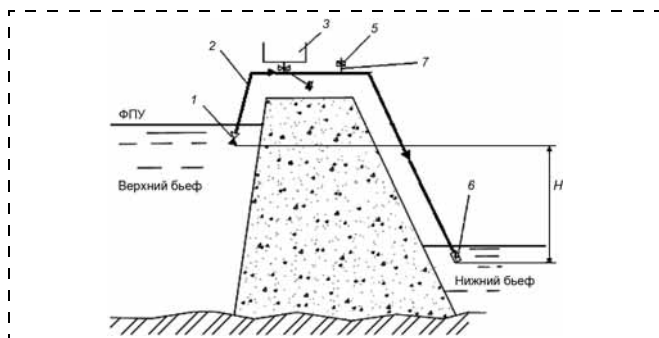


Рис. 1. Сифонный водосброс грунтовой плотины:
 1 — обратный клапан; 2 — сифон; 3 — наполнительный бачок; 4 — задвижка; 5, 6 — затвор; 7 — дополнительный патрубок; H — разность высот входа верхнего и выхода нижнего колена; ФПУ — форсированный подпорный уровень

Обратный клапан 1, установленный на конце короткого колена сифона, пропускает воду в одном направлении и предотвращает ее обратное движение, действуя при этом автоматически.

Для обоснования возможности использования предлагаемого сифонного водосброса в гидротехнической практике и определения пропускной способности сифона при различных режимах работы создана лабораторная модель (рис. 2).

Сифонный водосброс представляет собой гибкий трубопровод, разделенный на верхнее и нижнее колено и выполненный из металлопластика. Тело плотины, верхний и нижний бьеф выполнены из прозрачного оргстекла. Для регулирования подачи воды в верхний бьеф и наполнительный бачок на каждом поставлен шаровой кран, аналогичный установленному для регулирования опорожнения нижнего бьефа.

При проведении опытов рассматривался случай свободного истечения воды из сифонного водосброса в атмосферу. Анализ эксплуатационных особенностей работы сифонного водосброса проводился путем постановки полного факторного эксперимента. Необходимое количество опытов определяется по формуле [5]:

$$N = 2^k, \quad (1)$$

где k — количество факторов.

На основе анализа данных источников [6, 7] выбраны факторы, влияющие на пропускную способность сифонного водосброса: диаметр трубопровода D , м; разность высот входа верхнего и выхода нижнего колена H , м; длина сифона L , м; температура воды T , °С. С учетом размеров лабораторной модели сифонного водосброса определены уровни выбранных факторов, т. е. границы исследуемой области:

- $D(x_1)$: 0,02 м (–1), 0,026 м (+1).
- $H(x_2)$: 0,33 м (–1), 0,74 м (+1).
- $L(x_3)$: 1,33 м (–1), 1,75 м (+1).
- $T(x_4)$: 12 °С (–1), 20 °С (+1).

Для переменных $x_1...x_4$ показаны в безразмерном виде ($z_1...z_4$) верхняя граница исследуемой области

(+1), т. е. максимально возможное значение (с учетом размеров лабораторной модели); нижняя граница (–1) — минимально возможное значение.

Общее число экспериментов, в соответствии с формулой (1), равно $16 = 2^4$. Путем использования обозначений +1 и –1 исследуемые факторы приводились к безразмерному виду. Матрица планирования эксперимента представлена в таблице.

Каждый опыт проводился 5 раз. Пропускная способность сифонного водосброса (л/с) определялась с помощью расходомера. Проведенное число экспериментов обеспечило требуемую точность исследований, в которой при повышенной надежности эксперимента допускается ошибка выборки не более 5%. Ошибка экспериментальных данных лежит в пределах $\pm 2,9\%$.

После проведения экспериментов с целью предварительного анализа взаимосвязи выбранных факторов выполнен корреляционный анализ. По результатам анализа выявлено, что существует функциональная связь между разностью высот входа верхнего и выхода нижнего колена (x_2) и

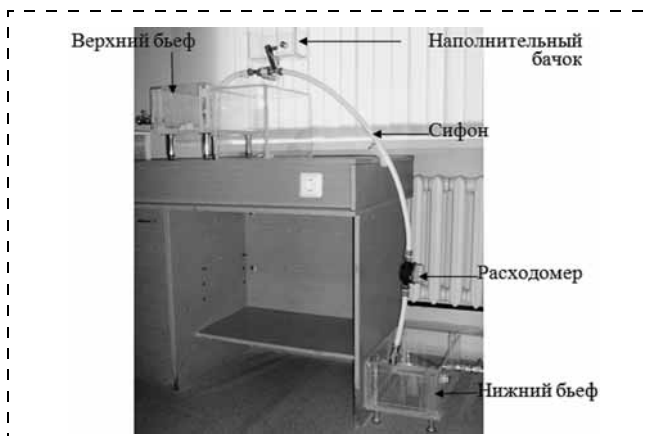


Рис. 2. Лабораторная модель сифонного водосброса

Матрица планирования эксперимента

Но- мер опыта	Факторы в натуральном виде				Факторы в безразмерном виде			
	x_1	x_2	x_3	x_4	z_1	z_2	z_3	z_4
1	0,02	0,33	1,33	12	–1	–1	–1	–1
2	0,026	0,33	1,33	12	+1	–1	–1	–1
3	0,02	0,39	1,33	12	–1	+1	–1	–1
4	0,026	0,39	1,33	12	+1	+1	–1	–1
5	0,02	0,68	1,75	12	–1	–1	+1	–1
6	0,026	0,68	1,75	12	+1	–1	+1	–1
7	0,02	0,33	1,33	20	–1	–1	–1	+1
8	0,026	0,33	1,33	20	+1	–1	–1	+1
9	0,02	0,68	1,75	12	–1	+1	+1	–1
10	0,026	0,74	1,75	12	+1	+1	+1	–1
11	0,02	0,74	1,75	20	–1	+1	+1	+1
12	0,026	0,74	1,75	20	+1	+1	+1	+1
13	0,02	0,68	1,75	20	–1	–1	+1	+1
14	0,026	0,68	1,75	20	+1	–1	+1	+1
15	0,02	0,39	1,33	20	–1	+1	–1	+1
16	0,026	0,39	1,33	20	+1	+1	–1	+1



длиной сифона (x_3). Коэффициент корреляции между факторами x_2 и x_3 более 0,8, т. е. они являются мультиколлинеарными. В связи с этим при дальнейшем анализе полученных результатов и выведении уравнения регрессии, описывающего эксперимент, длина сифона не рассматривалась.

Для получения уравнения, описывающего зависимость пропускной способности сифонного водосброса (y) от диаметра $D(x_1)$, температуры воды $T(x_4)$ и разности высот между входом верхнего и выходом нижнего колена $H(x_2)$, проводилась статистическая обработка экспериментальных данных в программе Регрессия 2.3. Полученное уравнение регрессии имеет вид:

$$y = -0,1734 + 9,7015x_1 + 0,1553x_2 + 0,003x_4. \quad (2)$$

Коэффициент корреляции равен 0,98, таким образом, полученное уравнение регрессии адекватно описывает эксперимент.

Проведенные эксперименты позволили выявить ряд эксплуатационных особенностей функционирования сифонного водосброса, что позволило помимо базового варианта сифонного водосброса для совершенствования условий использования предложить его модификации.

Вывод. Для предотвращения перелива воды через гребень грунтовой плотины при экстремальных гидрологических ситуациях следует использовать предло-

женный сифонный водосброс. Экспериментальное обоснование возможности использования сифонных водосбросов в гидротехнической практике основывается на компактности сооружений, автоматичности их включения, возможности сооружения водосброса после введения в эксплуатацию грунтовой плотины. На основе экспериментальных данных получена зависимость, позволяющая определить пропускную способность предлагаемого сифонного водосброса.

Список литературы

1. **Государственный доклад** о состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2009 году / Мин. природных ресурсов и экологии РФ. — М.: НИИ-Природа, 2010. — 288 с.
2. **Радченко С. В.** Причины повреждений и аварий грунтовых плотин (по данным СИГБ) // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. — 2010. — Т. 258. — С. 99—113.
3. **ICOLD Bulletin on Dam Safety Management.** Режим доступа: <http://www.icold-cigb.org>
4. **Патент 100528 РФ.** МПК E02B 7/18 (2006.01). Сифонный водосброс грунтовой плотины / Хаертдинова Э. С., Елизарьев А. Н., Красногорская Н. Н.; ГОУ ВПО УГАТУ. № 2010128151/21; заявл. 07.07.2010; опублик. 20.12.2010, Бюл. № 35. — 2 с.
5. **Джонсон Н., Лион Ф.** Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. — М.: Мир, 1980. — 610 с.
6. **Справочник по гидравлике** / Под ред. В. А. Большакова. — Киев: Вища школа, 1977. — 279 с.
7. **Ленгяева Е. А.** Научное обоснование гидравлических параметров металлических сифонных водосбросов низконапорных гидроразделов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 2007. — 24 с.

УДК 620

Ю. Н. Эйдемиллер, канд. техн. наук, доц., **Д. Н. Прокина**, студ., **А. П. Яханов**, студ.,
Уфимский государственный авиационный технический университет
E-mail: eidem@rambler.ru

Пожаровзрывобезопасность предприятий хранения и переработки растительного сырья (на примере ОАО "Уфимский комбинат хлебопродуктов")

На примере предприятия ОАО "Уфимский комбинат хлебопродуктов" рассмотрены основные вопросы обеспечения пожаровзрывобезопасности на объектах хранения и переработки растительного сырья. На основании построенного "дерева отказов" выполнен анализ причин возникновения чрезвычайных ситуаций, разработаны основные сценарии их развития. Предложены технические решения, направленные на повышение устойчивости функционирования данного объекта.

Ключевые слова: аварийная ситуация, "дерево отказов", вероятность нежелательного события, обеспечение пожаровзрывобезопасности, молниезащита, спринклерная система тушения пожара

Eydemiller Y. N., Prokina D. N., Iakhanov A. P. Fire-bursting safety a factories of keeping and recycling a vegetation materials (on the example of a PC "UFA factory of cereal products")

In this article, the example's of a PC "Ufa factory of cereal products", a main questions at fire-bursting safety was examined on a factories of keeping and recycling a vegetation materials. The analysis a causes of occurrence an emergency situations was performed on the "fault tree" and was a basic scenarios of development. Provided technical solutions aimed at improving the sustainability of this object.

Keywords: emergency situations, "fault tree", the probability of undesirable events, providing fire-bursting safety, lightning protection, sprinkler fire extinguishing system

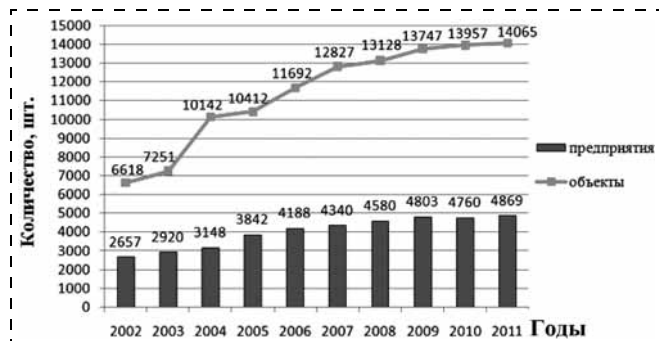


Рис. 1. Динамика роста численности предприятий переработки и объектов хранения растительного сырья

Мукомольное производство занимает особое место в пищевой промышленности России ввиду того, что его объекты (мельницы, элеваторы и т. п.) расположены практически в каждом населенном пункте. Вместе с тем необходимо отметить, что эти предприятия представляют потенциальную опасность в связи с высокой вероятностью возникновения на них пожаров и взрывов.

Современная технология хранения и переработки зерна и производства комбикормов способствует образованию на элеваторах, мукомольных и комбикормовых заводах большого количества мелкодисперсных горючих органических материалов. Кроме того, в последние годы наметилась тенденция к росту численности предприятий переработки и объектов хранения растительного сырья, о чем свидетельствует рис. 1.

В свободных объемах технологического, транспортного и аспирационного оборудования, в производственных сооружениях и помещениях по переработке и хранению растительного сырья могут возникать взрывоопасные пылевоздушные смеси. При нештатной аварийной ситуации образовавшиеся пылевоздушные смеси имеют склонность к взрывному превращению с выделением большого количества энергии, включая тепловую.

Проведенный анализ данных аварийной статистики показал, что в последнем десятилетии основ-

Таблица 1

Период возникновения аварии	Число аварий вследствие технических неисправностей	Число аварий вследствие нарушения техники безопасности (с летальным исходом)
2002—2003 гг.	5	4
2003—2004 гг.	1	3
2004—2005 гг.	2	6
2005—2006 гг.	2	7
2006—2007 гг.	2	6
2007—2008 гг.	1	4
2008—2009 гг.	4	3
2009—2010 гг.	1	7
2010—2011 гг.	3	7
2011—2012 гг.	6	5

Вклад оборудования в общую статистику аварийности, %	Тип оборудования, вышедшего из строя
44	Нории (устройства, предназначенные для подъема сыпучих материалов в вертикальном направлении)
30	Дробильно-измельчающее оборудование (дробилки, вальцовые станки)
15	Турбовоздуховки и вентиляторы
7	Конвейеры
4	Другое производственное оборудование

ными причинами техногенных аварий на производстве являются технические неисправности и нарушения техники безопасности. Данные о числе техногенных аварий за период с 2002 по 2012 г. приведены в табл. 1.

ОАО "Уфимский комбинат хлебопродуктов" (ОАО "УКХП") является крупнейшим из двадцати предприятий зернозаготовительной и зерноперерабатывающей отрасли в республике Башкортостан. Назначение ОАО "УКХП" — прием, хранение и переработка зерна, производство сортовой муки, крупы и комбикормов.

Анализ статистических данных показал, что одной из причин возникновения чрезвычайных ситуаций на предприятиях хранения и переработки зерна является выход из строя отдельных видов производственного оборудования. В табл. 2 представлен вклад различных видов оборудования в общую статистику аварийности.

ОАО "Уфимский комбинат хлебопродуктов" располагает целым рядом различных потенциально опасных производств, в связи с чем чрезвычайные ситуации могут возникнуть в цехах по производству муки, комбикормов, крупы и на элеваторах. С учетом возможных типов отказа оборудования было составлено "дерево отказов" для нежелательного события — выхода из строя дробильно-измельчающего оборудования (вальцового станка) в цехе по производству муки (рис. 2).

С учетом численных значений вероятности входящих событий (на основе статистических данных) определена вероятность для нежелательного события — выхода из строя вальцового станка ($P_{\text{отк.обор}}$) вследствие причин, основными из которых являются неисправность составных деталей оборудования и ошибочные действия персонала:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{отк.обор}} &= P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 = \\
 &= 0,03 \cdot 10^{-6} + 0,4 \cdot 10^{-5} + 6,27 \cdot 10^{-6} + \\
 &+ 2,45 \cdot 10^{-5} + 0,92 \cdot 10^{-5} + 0,63 \cdot 10^{-5} + \\
 &+ 0,07 \cdot 10^{-6} = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.
 \end{aligned}$$

Для количественного анализа развития чрезвычайной ситуации на ОАО "УКХП" построено "дерево событий" для случая выхода из строя дробильно-измельчающего оборудования (вальцового станка), которое представлено на рис. 3.



При анализе "дерева событий" (см. рис. 3) были выявлены следующие сценарии развития чрезвычайной ситуации на ОАО "УКХП".

Сценарий № 1 — *наиболее опасный*: в результате выхода из строя вальцового станка (из-за перегиба и сильного поджата вальцов) происходит искрение и

перегрев части поверхности вальцов, что ведет к загоранию продукта и распространению пожара на этаже. Далее осуществляется перенос горящих частиц по пневмотранспорту и возникает первичный взрыв в пневмоколлекторе, который приводит к его полному разрушению. В результате взрыва

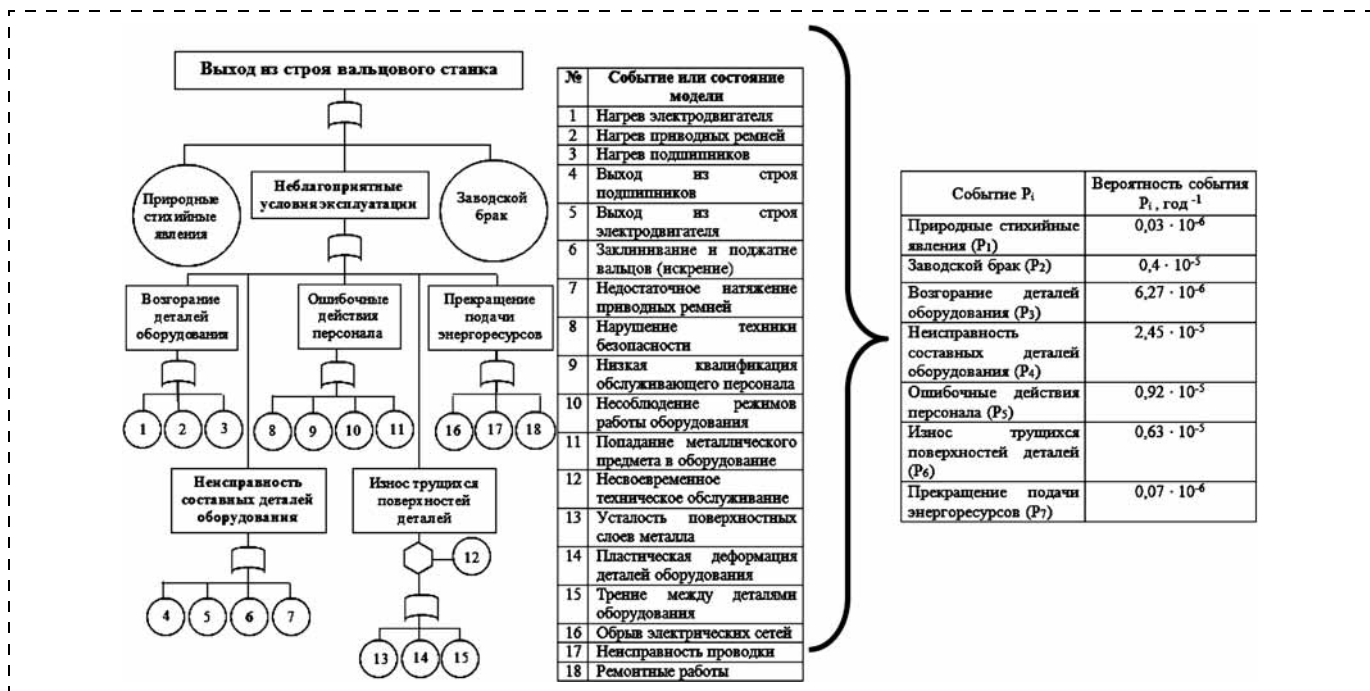


Рис. 2. "Дерево отказов" для нежелательного события — выхода из строя вальцового станка и ориентировочные значения вероятности событий, приводящих к выходу из строя станка

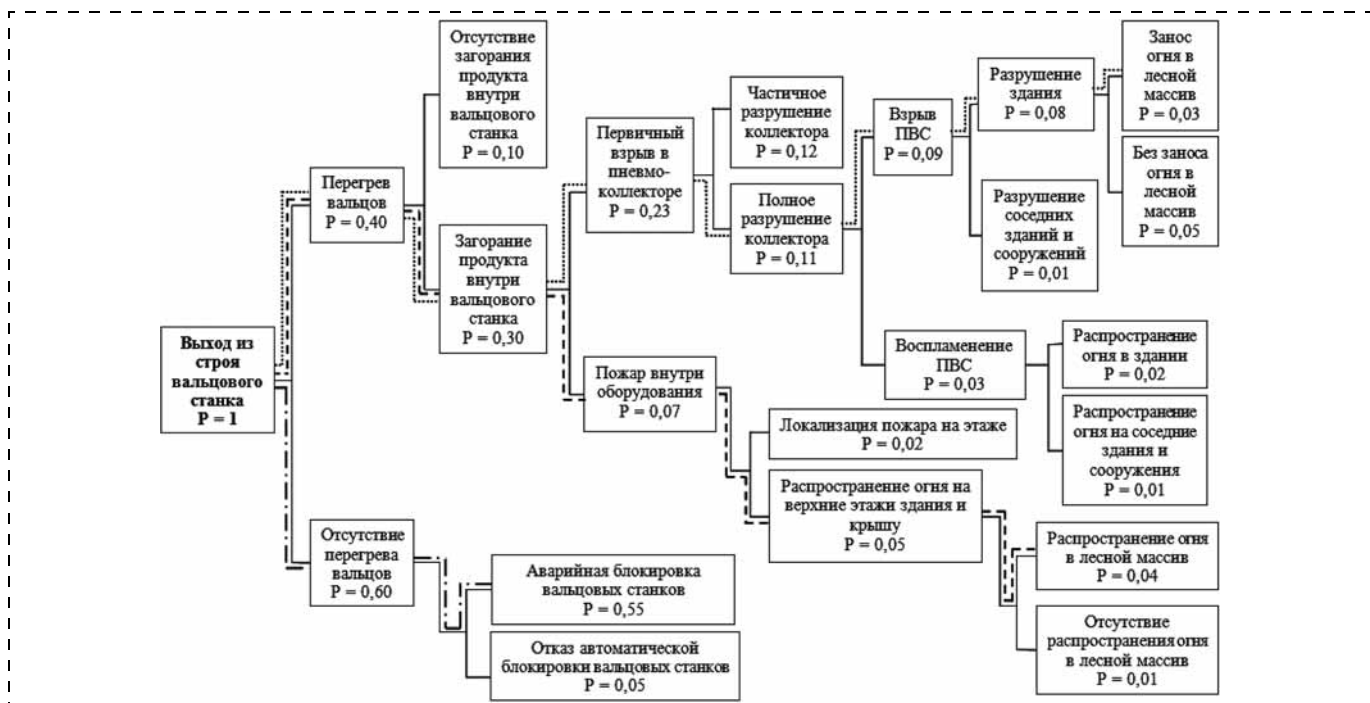


Рис. 3. "Дерево событий" для случая выхода из строя вальцового станка на ОАО "УКХП":

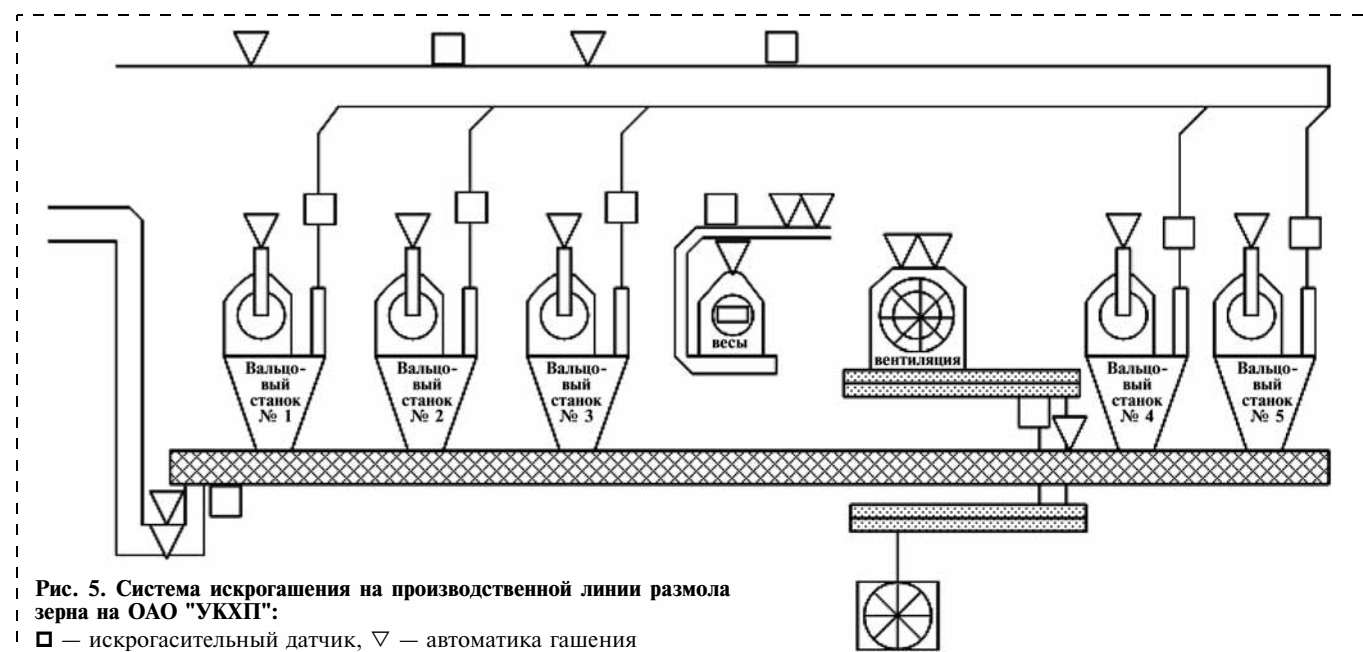
..... — наиболее опасный сценарий; — · — наиболее вероятный сценарий; — — — сценарий с максимально негативным воздействием на окружающую среду

происходит распространение ударных волн высокотемпературных продуктов сгорания, что служит причиной дальнейших взрывов пылевоздушной смеси (ПВС), которые ведут к разрушению здания мельницы и заносу огня в прилегающий к объекту лесной массив.

Сценарий № 2 — *наиболее вероятный*: в результате выхода из строя вальцового станка (из-за перекоса и сильного поджгания вальцов) не происходит перегрев части поверхности вальцов. Рабочим персоналом производится аварийная блокировка дробильно-измельчающего оборудования (вальцового станка).



Рис. 4. Основные мероприятия по пожаровзрывозащите производственных цехов ОАО "УКХП"



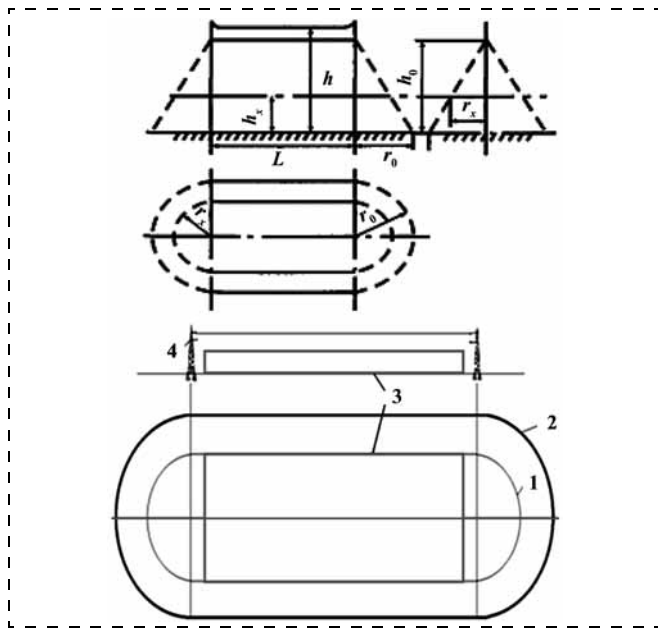


Рис. 6. Молниезащита для здания мельницы ОАО "УКХП":
 h_0 — высота зоны защиты; h_x — высота здания; h — высота молниествода; L — ширина здания; r_0 — радиус зоны защиты на уровне земли; r_x — радиус зоны защиты требуемой надежности; 1 — граница зоны защиты на уровне высоты здания мельницы; 2 — граница зоны защиты здания мельницы на уровне земли; 3 — защищаемый объект — мельница; 4 — опоры молниествода

Сценарий № 3 — **максимально негативное воздействие на окружающую среду:** в результате выхода из строя вальцового станка (из-за перекаса и сильного поджатия вальцов) происходит искрение и перегрев части поверхности вальцов. Это ведет к загоранию продукта внутри оборудования и образованию пожара. Далее осуществляется перенос горящих частиц по пневмотранспорту и распространение огня на верхние этажи здания и крышу, а также в прилегающий к объекту лесной массив.

Предупреждение чрезвычайной ситуации является одной из главных задач обеспечения пожаровзрывобезопасности потенциально опасных промышленных объектов. Анализ результатов расчетов риска возникновения ЧС показал необходимость разработки технических решений по предупреждению чрезвычайной ситуации на ОАО "УКХП".

Для обеспечения защиты людей и материальных ценностей при возникновении пожара, взрыва на ОАО "УКХП" должны быть предусмотрены меры, предотвращающие воздействие опасных факторов (рис. 4).

Организация и ведение технологических процессов, установка и эксплуатация оборудования должны соответствовать требованиям и рекомендациям по обеспечению пожаровзрывобезопасности в соответствии с нормативно-технической документацией.

Для предотвращения возникновения ЧС на ОАО "Уфимский комбинат хлебопродуктов" в цехе по производству муки произведен расчет установки искрогашения. Схема установки системы искрогашения на производственную линию размола зерна показана на рис. 5.

Для производственной линии размола зерна ОАО "УКХП", состоящей из 22 вальцовых станков марки А1-БЗН, необходима установка 28 искрогасительных датчиков, 30 единиц автоматики гашения и одного центрального пульта сбора информации.

Установка искрогашения является эффективным способом профилактики возникновения пожаров. Процесс гашения в большинстве случаев осуществляется без остановки производства и с использованием малых объемов воды.

Согласно ИСО 153-34.21.122—2003 Инструкции по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций произведен расчет системы молниезащиты для здания мельницы ОАО "УКХП". Молниезащита выполнена одиночным тросовым молниестводом, зона защиты приведена на рис. 6.

Параметры зоны защиты для здания мельницы ОАО "УКХП" представлены в табл. 3.

Фундаментом и заземлителем одновременно служит конструкция из четырех железобетонных подножников. Защита от заноса высокого потенциала по подземным коммуникациям осуществляется путем их присоединения на вводе в здание к железобетонному фундаменту здания.

Также была рассчитана система автоматического пожаротушения, предназначенная для автоматического обнаружения пожара, передачи сообщения о пожаре на пульт охраны, автоматической локализации и тушения пожара. Для тушения пожара в здании мельницы ОАО "УКХП" следует применять автоматические спринклерные установки пожаротушения водой с добавкой смачивателя на основе пенообразователя общего назначения (рис. 7).

На основе расчета определено, что при напоре раствора 50 м необходимо четыре генератора (оросителя) эвольвентных ОЭ-50 для подачи раствора воды со смачивателем интенсивностью $0,08 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$ (рис. 8).

Спринклер имеет специальную легкоплавкую насадку, которая при пожаре плавится и открывает

Таблица 3

Ожидаемое количество поражений молний в год N	Надежность защиты P_3	Высота конуса h_0 , м	Высота молниествода h , м	Радиус конуса r_0 , м	Радиус зоны защиты требуемой надежности r_x , м	Высота здания h_x , м	Высота опоры $h_{оп}$, м	Длина пролета троса a , м
0,19	0,9	36,02	41,40	62,10	9,30	30,70	43,40	101,87

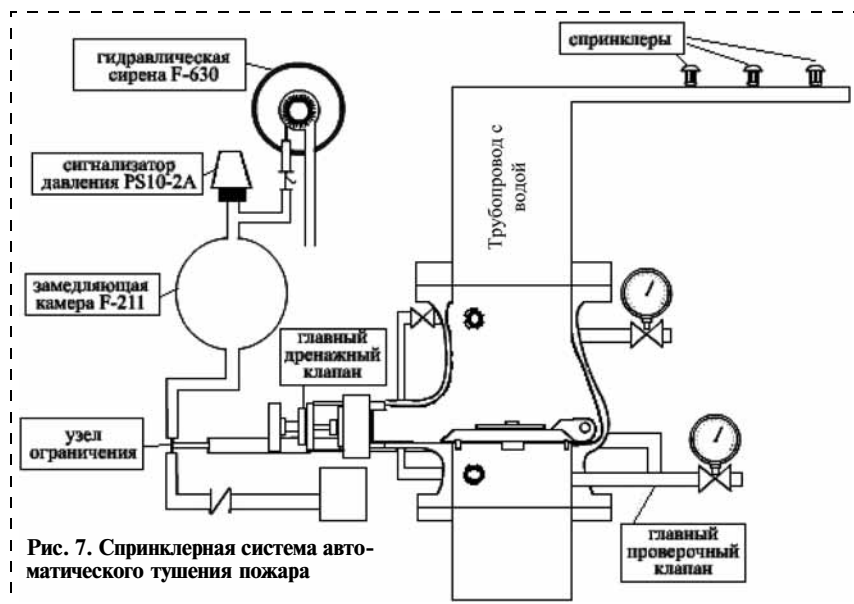


Рис. 7. Спринклерная система автоматического тушения пожара

доступ воде. Современные спринклеры подают воду не сплошным потоком, а создают водяной туман, что уменьшает расход воды и возможный ущерб имуществу. Спринклерные оросители устанавливаются между балками, ребрами плит и другими выступающими элементами перекрытия (покрытия) с учетом обеспечения равномерности орошения пола. В местах, где имеется опасность механического повреждения, спринклерные оросители защищены. Спринклерные оросители уста-

навливаются в помещении цеха с температурой разрушения теплового замка 57 °С.

Таким образом, внедрение предлагаемых технических решений позволит снизить вероятность возникновения пожара и взрыва в результате аварийных ситуаций при эксплуатации технологического оборудования на предприятиях хранения и переработки растительного сырья. Соответственно, снижается риск поражения рабочего персонала опасными факторами пожара и взрыва и загрязнения окружающей среды.

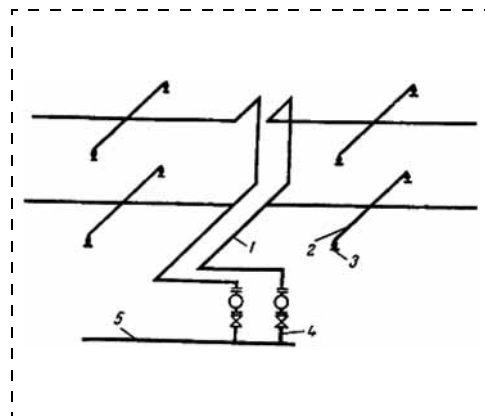


Рис. 8. Принципиальная схема спринклерной системы в размольном цехе по производству муки ОАО "УКХП":

1 — питающий трубопровод; 2 — распределительный трубопровод; 3 — спринклерные головки; 4 — запорно-пусковой узел; 5 — трубопровод от водопитателя

УДК 314

С. Г. Аксенов, д-р экон. наук, канд. юрид. наук, проф.,
Уфимский государственный авиационный технический университет
E-mail: elizariev@mail.ru

К вопросу о правовых основах добровольных формирований в обеспечении пожарной безопасности

Рассмотрены вопросы обеспечения пожарной безопасности в населенных пунктах, сельской местности и лесных массивах с привлечением добровольных формирований. Рассмотрены положительные и отрицательные стороны принятого Федерального закона "О добровольной пожарной охране".

Ключевые слова: добровольная пожарная охрана, законодательство, тушение пожаров, органы местного самоуправления

Aksenov S. G. *On the problem of the legal basis of voluntary firefighting units in providing fire safety*

There have been considered in the article the problems of providing fire safety in settlements, rural and woodlands involving voluntary firefighting units. There have been studied pros and cons of the adopted Federal law "On voluntary firefighting guards".

Keywords: voluntary firefighting guard, legislation, fire suppression, local self-government bodies



Во многих государствах развито пожарное добровольчество, например в Германии и других странах Европы. В мае 2011 г. и в России принят Федеральный закон "О добровольной пожарной охране" № 100-ФЗ. Настоящий законодательный акт устанавливает правовые основы создания и деятельности добровольной пожарной охраны, права и гарантии деятельности общественных объединений пожарной охраны и добровольных пожарных, регулирует отношения добровольной пожарной охраны с органами государственной власти, органами местного самоуправления, организациями и гражданами Российской Федерации, иностранными гражданами и лицами без гражданства.

Этот законодательный акт разработан и принят по поручению Президента Российской Федерации с учетом опыта по тушению пожаров в лесных массивах и в ближайших к ним населенных пунктах в 2010 г. Как показал опыт, без более активного привлечения граждан к обеспечению пожарной безопасности само государство в ряде случаев не может обеспечить необходимый уровень безопасности жизни, здоровья граждан и их имущества.

В соответствии со статьей 4 Федерального закона Российской Федерации "О пожарной безопасности" от 21.12.1994 № 69-ФЗ, добровольная пожарная охрана — это один из пяти видов пожарной охраны, где граждане принимают участие в обеспечении первичных мер пожарной безопасности.

Действительно, участие граждан в деятельности добровольной пожарной охраны является формой социально значимых работ, устанавливаемых органами местного самоуправления поселения и городских округов.

В 83 субъектах подготовлены и приняты законы, в которых предусматриваются льготы и стимулы для добровольных пожарных и членов их семей. Особенно это важно в сельской местности: комбикорма по себестоимости, где-то — освобождение от коммунальных платежей, где-то — дополнительные выплаты, пусть небольшие, но доплаты, где-то — бесплатное или за счет поселка или города топливо, будь-то уголь или дрова.

Так, например, в Нижегородской области в 25 муниципальных образованиях-поселениях приняты нормативно-правовые акты, устанавливающие на муниципальном уровне меры социальной поддержки для общественных объединений добровольной пожарной охраны, добровольных пожарных и членов их семей. В основном это льготы в части освобождения добровольных пожарных от налогов, которые поступают в муниципальный бюджет (налоги на землю, налоги на имущество физических лиц), страхования, первоочередного выделения мест для малолетних детей в ясли, детские сады.

Следует отметить, что в настоящее время возросло число добровольных пожарных. Особое внимание к развитию этого общественного движения создало предположение к тому, что тысячи людей реально задались вопросом: как вступить в ряды добровольной пожарной охраны? В различных регионах государства сотрудники МЧС России и члены Всероссийского добровольного пожарного общества информируют об этом, широко используя печатные и электронные средства массовой информации, современные мультимедийные технологии. Не забывают и хорошо известные классические способы пропаганды: периодическую печать и памятки.

Чтобы стать добровольным пожарным, необходимо написать заявление в общественное объединение пожарной охраны; заявление на обработку персональных данных. К заявлению в обязательном порядке прилагается копия

паспорта и копия свидетельства (диплома) о прохождении обучения по программам первоначальной и последующей профессиональной подготовки (при наличии). Затем необходимо пройти медицинское освидетельствование, получить соответствующие знания, навыки и зарегистрироваться в реестре добровольных пожарных с целью распространения гарантий правовой и социальной защиты.

Что касается пожарно-технического вооружения, то принята программа переоснащения военной техники, где снимаются с вооружения авторазливочные станции АРС-14 и переоборудуются в пожарные автоцистерны. Все это поступает в добровольные пожарные отряды. Очень важно, чтобы отечественные заводы и предприятия начали делать пожарную технику, приемлемую по цене для сельских местностей.

Необходимо отметить, что государство создает "общественное МЧС" — добровольное движение, объединяющее уже на первом этапе сотни тысяч людей, способных не только потушить пожар, справиться со стихией, но и, возможно, самое главное — обеспечить в обществе устойчивое понимание необходимости безопасной жизнедеятельности. В каждом высшем учебном заведении создание студенческой добровольной пожарной охраны воспринимается как реальный шаг вперед. Поэтому каждый выпускник-доброволец должен стать потенциальным носителем новой идеологии безопасности, в основе которой функция государства в деле спасения многократно усиливается ролью общества. Особенно в сфере профилактики!

Сегодня на территории Российской Федерации организовано 23 290 дружин юных пожарных численностью более 240 тыс. человек [1]. Дружины юных пожарных — это добровольные объединения учащихся, которые создаются с целью: воспитания у подрастающего поколения мужества, гражданственности, находчивости, бережного отношения к государственной собственности; формирования начальных профессиональных пожарно-технических навыков; пропаганды безопасного образа жизни среди детей и юношества; приобретения подростками знаний и навыков поведения в экстремальных ситуациях; популяризации профессии пожарно-прикладного спорта, а также для организации досуга детей.

Однако Федеральный закон Российской Федерации № 100-ФЗ "О добровольной пожарной охране" не содержит положений о добровольных детских противопожарных формированиях, что затруднит субъектам государства процесс принятия нормативных правовых актов в области организации детских противопожарных формирований. Принятый закон требует определенной доработки не только в области организации детских противопожарных формирований, но и в области сохранения заработной платы по основному месту работы добровольным пожарным на время привлечения их к тушению пожаров и расширения спектра гарантий правовой и социальной защиты добровольных пожарных на федеральном уровне, в том числе пенсионного обеспечения добровольцев.

Таким образом, в связи с ростом в последнее время как природных, так и техногенных пожаров на территории Российской Федерации реализация данного нормативно-правового акта, с учетом доработки выявленных недостатков, позволит существенно повысить эффективность деятельности по обеспечению пожарной безопасности в России.

Список литературы

1. Сидоркин В. А. В полку юных добровольцев убыло // Пожарное дело. — 2012. — № 2. — С. 56.

УДК 625.855.3

З. У. Асадуллина, асс., асп., **В. В. Яковлев**, д-р техн. наук, проф.,
Уфимский государственный нефтяной технический университет
E-mail: gossu@list.ru

Вовлечение отходов кровельных материалов в производство битума

Рассмотрена проблема складирования и утилизации отходов ремонта мягких кровель. Разработан способ производства качественного битумного вяжущего.

Ключевые слова: асфальтобетон, битумное вяжущее, кровельные отходы, утилизация, экологическая проблема

Asadullina Z. U., Yakovlev V. V. Involvement of waste roofing materials in the production of bitumen

The problem of storage and utilization of wastes of the repair of soft roofing is considered. The method of the production of high quality bitumen astringent.

Keywords: asphalt concrete, bitumen astringent, roofing waste, recycling, ecological problem

Введение

Природные ресурсы, которые потребляет человечество, можно условно разделить на две части: возобновляемые и невозобновляемые. Используемые человечеством технологии ориентированы в первую очередь на использование невозобновляемых природных ресурсов, таких как нефть, уголь, руды. При этом их использование технологически влечет за собой нарушения в окружающем мире: уменьшается плодородие почв и количество пресной воды, загрязняется атмосфера.

Сегодня, используя сложившиеся технологии, человечество имеет разнообразнейшую структуру всевозможных отходов бытового и промышленного происхождения. Эти отходы, постепенно накапливаясь, превратились в настоящее бедствие. Поэтому все большее внимание уделяется вопросам охраны окружающей среды и поощряется создание соответствующих технологий. Развиваются системы очистки территорий от мусора и технологии его сжигания. Однако технология сжигания мусора является тупиковой и неизбежно теряет свое значение по экономическим и экологическим причинам. Если не перейти на другие технологии ликвидации отходов, то затраты будут расти. При этом следует иметь в виду, что необходимы такие новые технологии, которые со временем

могли бы обеспечить, с одной стороны, потребительские запросы населения, а с другой — сохранность окружающей среды.

Одними из многотоннажных экологически небезопасных отходов являются битумосодержащие отходы ремонта мягких кровель. При капитальном ремонте мягких кровель старый гидроизоляционный ковер снимается с крыш зданий и образующиеся отходы вывозятся на городские свалки или полигоны твердых бытовых отходов, а иногда и просто закапываются в грунт на строительной площадке. С каждым годом проблема твердых бытовых отходов становится все более серьезной.

Специального учета количества отходов не ведется. Однако косвенную оценку их объема можно получить из следующих данных. Ежегодно на предприятиях Республики Башкортостан (города Учалы и Ишимбай) производится около 100 млн м² мягких кровельных материалов [2]. При средней удельной массе 3...4 кг/м² в год производится 350 тыс. т материалов. Без учета ввозимых кровельных материалов из других регионов примерно половину этого объема составляют и снимаемые с крыш старые гидроизоляционные ковры. То есть можно допустить, что в республике ежегодно вывозятся на полигоны для захоронения более 200 тыс. т отходов. Складирование отходов на свалках становится проблематичным и дорожает [3]. Утилизация их методом сжигания загрязняет окружающую среду. Кроме того, это означает всего лишь одноразовое использование сырья.

Если извлечь битум из кровельных отходов и затем его использовать в строительстве, то не только будет решена экологическая проблема, но и получен весьма ощутимый экономический эффект. Естественно, вследствие старения битума в процессе эксплуатации кровель происходит изменение его свойств, и для повторного использования необходима его пластификация с целью обеспечения требуемых параметров материала.

Разработка способа пластификации вторичного битума и рецептуры битумного вяжущего

Процесс старения битума сопровождается изменением его группового химического состава. Для определения группового состава битума битумный порошок, полученный после переработки кровельных



Таблица 1

Изменение группового состава битумов в процессе старения

Соединения	Количество битума нефтяного кровельного БНК 90/30, %	
	свеже-приготовленного	состарившегося
Парафинонафтеновые	11,7	9,1
Легкие ароматические	14,2	9,9
Средние ароматические	7,8	6,3
Тяжелые ароматические	24,5	15,4
Смолы I	8,8	9,0
Смолы II	11,2	14,2
Асфальтены	21,8	36,0

Таблица 2

Изменение состава битумов в результате пластификации их гудроном

Соединения	Количество составляющих битума, %, разбавленного гудроном		Исходное вяжущее, %
	на 40 % масс.	на 50 % масс.	
Парафинонафтеновые	12,6	16,6	9,1
Легкие ароматические	12,4	15,2	9,9
Средние ароматические	9,2	8,7	6,3
Тяжелые ароматические	28,8	24,7	15,4
Смолы I	9,7	9,9	9,0
Смолы II	12,8	13,2	14,2
Асфальтены	14,5	11,7	36,0

отходов, был расплавлен при температуре 180 °С. После выдержки при данной температуре расплав был отфильтрован. Полученный "чистый" битум был исследован на хроматографе "Градиент-М". Методика основана на принципах жидкостно-адсорбционной хроматографии с градиентным вытеснением и предназначена для определения группового состава тяжелых нефтепродуктов с разделением на семь групп: парафино-нафтеновые углеводороды, легкие, средние, тяжелые ароматические углеводороды, смолы I, смолы II и асфальтены (табл. 1).

Как следует из результатов анализа, в состарившемся битуме присутствуют все основные группы соединений, характерные для битумов свежеприготов-

ленных, однако в исследуемом состарившемся образце битума наблюдается пониженное содержание легких, средних, тяжелых ароматических соединений и повышенное количество смол и асфальтенов.

Соотношение содержания основных групп соединений определяют показатели качества битумов. Так, асфальтены придают битумам твердость и теплостойкость, смолы определяют пластичность и растяжимость, а масла оказывают пластифицирующее действие.

Одним из способов восстановления изначальных характеристик битума, состарившегося в составе кровельного материала в течение длительного срока эксплуатации, является восстановление его коллоидной структуры.

Так, битумное вяжущее после растворения его в спирто-толуольной смеси и полного выпаривания растворителя имеет следующие показатели:

- глубина проникания иглы при 25 °С — 0,8 мм;
- температура размягчения — 104,4 °С;
- температура хрупкости — минус 3 °С;
- растяжимость при 25 °С — 2,2 см.

Для использования битума в дорожном строительстве необходимо снизить его вязкость, увеличить растяжимость и понизить температуру хрупкости.

Одним из возможных способов пластификации является компаундирование вторичного битума с гудроном [4]. Результаты экспериментов по определению качественных показателей вторичного битума, пластифицированного различным количеством гудрона, приведены в табл. 2 и 3 и на рис. 1.

В соответствии с экспериментальными результатами, представленными в табл. 3 и на рис. 1, можно рекомендовать для использования в качестве технического приема для восстановления эксплуатационных характеристик состарившихся в кровле битумов пластифицировать их гудроном до получения битумов нефтяных дорожных (БНД), рекомендуемых для использования при строительстве и ремонте дорожных покрытий в определенной дорожно-климатической зоне.

Пластифицированные битумы характеризуются пониженным показателем растяжимости при 25 °С (рис. 2). Однако эластичные свойства пластифицированного битума изменяются с температурой менее резко, чем у стандартных битумов, т. е. восприимчивость вторичного битума к температуре ниже и вслед-

Таблица 3

Характеристики вторичных битумов, пластифицированных гудроном, в сопоставлении с требованиями стандартов

Показатель	Требования ГОСТ 22245—90			Фактические показатели битумов, разбавленных гудроном, % масс	
	БНД 40/60	БНД 60/90	БНД 90/130	40	50
Глубина проникания иглы 0,1 мм при 25 °С	40...60	61...90	91...130	54	114
при 0 °С	Не менее 13	Не менее 20	Не менее 28	21	27
Температура размягчения, °С	Не ниже 51	Не ниже 47	Не ниже 43	52,6	44
Растяжимость, см при 25 °С	45	55	65	15	29,2
при 0 °С	—	3,5	4,0	3,2	3,8
Температура хрупкости, °С	Не выше -12	Не выше -15	Не выше -17	-19	-21,5

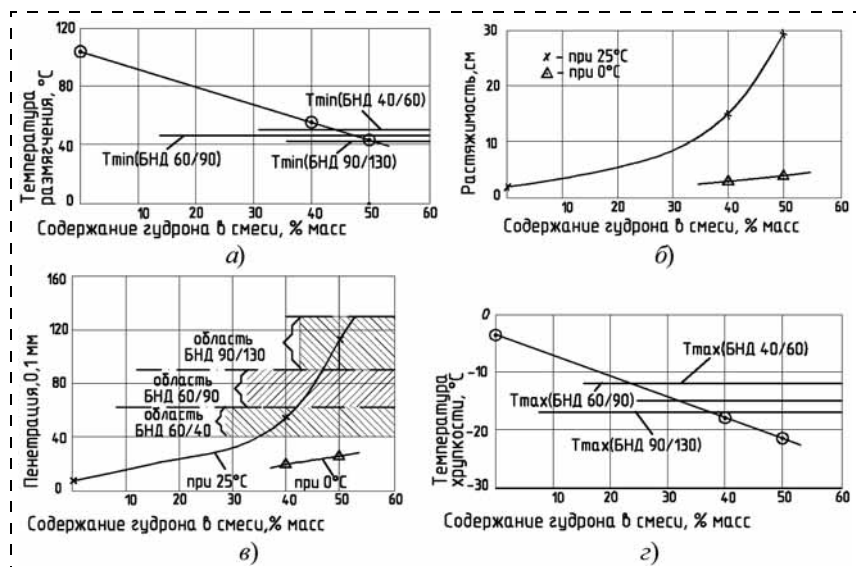


Рис. 1. Изменение показателей вторичного битума в зависимости от степени разбавления гудроном:

а — температуры размягчения; *б* — растяжимости; *в* — пенетрации; *г* — температуры хрупкости

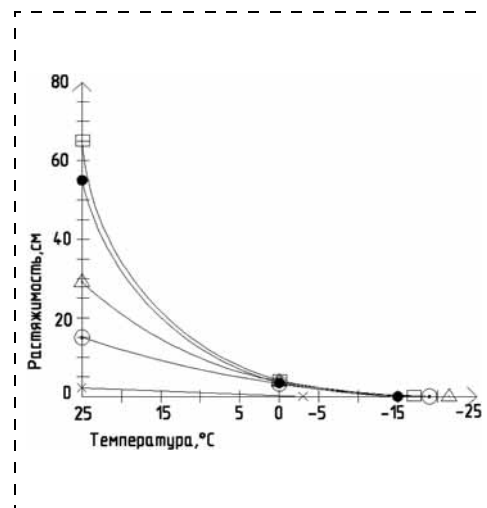


Рис. 2. Изменение растяжимости битумов в зависимости от температуры:

× — исходное вяжущее; O — разбавлено гудроном на 40 %; Δ — разбавлено гудроном на 50 %; □ — БНД 90/130 по ГОСТ 22245—90; ● — БНД 60/90 по ГОСТ 22245—90

Таблица 4

Свойства асфальтобетона на различном вяжущем

Показатель	Показатель для асфальтобетона на вяжущем		Требования ГОСТ 9128—2009
	стандартном (БНД 90/130)	полученном из отходов	
Средняя плотность, г/см ³	2,35	2,34	—
Водонасыщение, %	3,5	4,0	1,5...4,0
Предел прочности на сжатие, МПа:			
	при 20 °С	2,95	5,95
при 50 °С	0,72	1,38	≥0,9
Коэффициент водостойкости	0,97	0,93	≥0,75

ствие этого трещиностойкость их выше, т. е. ниже температура хрупкости.

Испытания асфальтобетонных образцов проведены в соответствии с ГОСТ 9128—2009. Из анализа полученных данных (табл. 4) следует, что асфальтобетон на вяжущем, полученном из битумсодержащих отходов, удовлетворяет требованиям стандарта для асфальтобетона типа Б марки III по показателям водонасыщения, прочности при 20 °С и при 50 °С, а также коэффициенту водостойкости.

Технология получения

Как показали исследования, главный компонент дорожного покрытия можно получить, используя нетрадиционные материалы. Так, экспериментальным путем произведен битум из отходов ремонта мягких кровель. Одним из путей практически полной утили-

зации отходов может быть производство асфальтобетонных смесей с гарантированным высоким качеством в соответствии с ГОСТ 9128—2009.

В состав работ по переработке отходов ремонта мягких кровель входят: подготовительные работы, нарезка пластов кровельного ковра на куски, загрузка кусков в установку и их размельчение, сортировка размельченного материала (рис. 3) [5].

В результате механической переработки получаются два продукта:

- 1) битумный порошок, состоящий из битумной крошки и мелкого минерального наполнителя;
- 2) битуминизированный картон, представляющий собой пропитанную легкоплавкими битумами картонную основу рубероида, разорванную на куски размером до 40 мм.

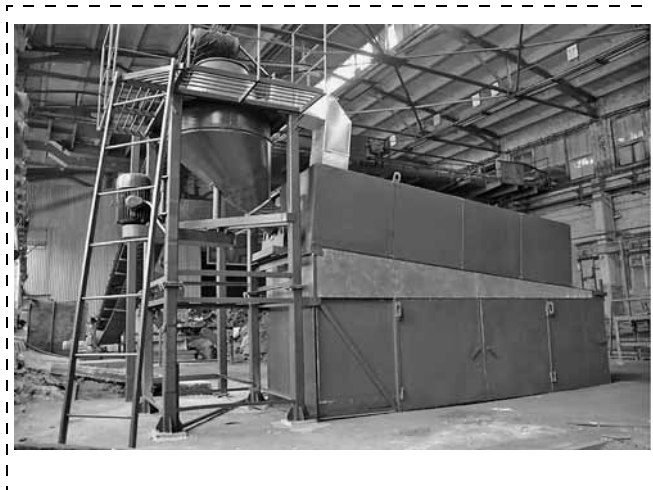


Рис. 3. Мини-завод по переработке битумосодержащих отходов



На второй стадии процесса происходит переплавка битумного порошка с получением битума. Этот процесс заключается в нагревании битумного порошка до 160...180 °С, отстаивании массы в горячем состоянии и после седиментации минеральных частиц отбор относительно "чистого" битума из верхней части плавильного котла. Кроме битума получается осевшая на дно установки битумно-минеральная масса, включающая битум и минеральный наполнитель.

За один месяц комплексом по переработке битумосодержащих отходов может быть переработано до 300 т отходов мягких кровель при двухсменной работе, что позволяет при минимальной комплектации получать 120...150 т вторичного битума с себестоимостью 950...1200 руб./т.

Для использования вторичного битума в дорожном строительстве необходимо снизить его вязкость, увеличить растяжимость и понизить температуру хрупкости. Таких результатов можно достигнуть за счет изменения группового состава вторичного битума, т. е. за счет его пластификации.

Полученный битум при переплавке битумного порошка поступает для пластификации в вертикальный аппарат с перемешивающим устройством. Пластификация подразумевает смешение полученного битума с прямогонным гудроном в определенных пропорциях для получения вязких нефтяных дорожных битумов с требуемыми качественными характеристиками [5].

Смешение производится при температуре 160...180 °С. Время непрерывного перемешивания компонентов должно составлять не менее 30 мин. Полученный битум нефтяной дорожный поступает в битумное хранилище и в дальнейшем будет использоваться для приготовления асфальтобетонных смесей.

Заключение

Представленные в статье результаты свидетельствуют, что имеется реальная возможность производства качественного битумного вяжущего и одновременно практически полной утилизации отходов ремонта мягких кровель.

Разумное воздействие на окружающую природную среду, выпуск экологически благоприятной продукции — необходимые условия производственно-хозяйственной деятельности предприятий. Такой подход требует переориентации деятельности предприятий на учет безопасности потребителей. Учет экологических требований при выпуске продукции в странах с развитой экономикой позволяет предприятиям на основе укрепления имиджа добиваться более уверенного положения на рынке и роста объемов работ.

Список литературы

1. **Бальзаников М. И., Петров В. П.** Экологические аспекты производства строительных материалов из отходов промышленности // Современное состояние и перспектива развития строительного материаловедения: Восьмые академические чтения отделения строительных наук РААСН. — Самара: СГАСУ, 2004. — С. 47—50.
2. **Состояние** строительной индустрии и промышленности строительных материалов республики на 01.11.2007 // Бюллетень строительного комплекса Республики Башкортостан. — 2007. — № 4. — С. 11—12.
3. **Расчет платежей** за загрязнение окружающей природной среды: Сборник нормативных документов. — Уфа: ЦИТО, 2003. — 428 с.
4. **Яковлев В. В., Куткин Ю. А., Урманов Д. Р., Фархутдинова К. И.** Органические вяжущие из битумосодержащих отходов ремонта кровельных покрытий // Проблемы строительного комплекса России: Материалы XII Междунар. научн-техн. конф. — Т. 1. — Уфа: УГНТУ, 2008. — С. 54—56.
5. **ТКП 2.48740114.001** Механическая переработка отходов битумосодержащих кровельных материалов / ООО фирма "Олимп-Дизайн". — Калининград, 2004. — 13 с.

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, Стромынский 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 *З. В. Наумова*

Сдано в набор 11.09.12. Подписано в печать 22.10.12. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Заказ ВГ1112.

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 солишнз".

Отпечатано в ООО "Авансед солишнз". 105120, г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, д. 5/7, стр. 2, офис 2.