

## КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРЕДПРИЯТИЯ

Брянский филиал Московского государственного университета путей сообщения  
241020, г. Брянск, ул. Кр.партизан, 13а

*Представлена комплексная система экологического мониторинга предприятия на примере механизированного промывочно-пропарочного комплекса, состоящая из химического анализа почвы, оценки токсичности почвенных вытяжек, фитоценологического анализа травостоя территории и включения в процедуру медосмотров работников цветной осадочной реакции Кимбаровского, позволяющей установить наличие патологических изменений в организме в экспрессном режиме.*

**Ключевые слова:** экологический мониторинг, тяжёлые металлы, токсичность, цветная осадочная реакция Кимбаровского.

Современная система экологического контроля за предприятием предусматривает проведение химических анализов загрязнённых сред – почвы, воды и атмосферного воздуха. В зависимости от особенностей воздействия на окружающую среду количество указанных анализов редко превышает 20-50 наименований свойств (рН, t°, цветность и т.д.) и компонентов (содержание ионов H<sup>+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> и т.п.). Однако охватить всё разнообразие химических веществ не представляется возможным.

Картина загрязнения территории предприятия, его санитарно-защитной зоны, а так же окружающей среды оказывается неполной или искажённой. Учитываются далеко не все загрязняющие вещества, их влияние на биотические компоненты предприятия как экологической системы, в т.ч. на здоровье обслуживающего персонала.

В связи с этим, считаем **актуальным** разработку эффективной системы экологического мониторинга предприятия, которая бы давала комплексную оценку его состояния как целостной экологической системы, включающей биологическую компоненту.

**Объект исследования** –механизированный промывочно-пропарочный комплекс (ППК), предназначенный для подготовки железнодорожных цистерн к погрузке и проверке их пригодности к эксплуатации.

Обработка цистерн сводится к выполнению следующих операций:

- удаление остатков;
- промывка горячей водой или пропарка паром;
- химическая обработка;
- протирка или просушка.

**Цель исследований** – оценка экологического состояния территории ППК с учётом влияния на здоровье работника.

### **Задачи:**

- провести количественную оценку валового содержания в почве основных загрязнителей на примере тяжёлых металлов (ТМ);
- установить токсичность почвы методами биотестирования;
- предложить метод экспрессной оценки наличия патологических состояний у работников ППК.

### **Методика проведения исследований**

Почвы территории ППК и близлежащего лесного массива относятся по механическому составу к лёгким песчаным почвам. Отбор проб осуществлялся в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84. Валовое содержание тяжёлых металлов определяли на рентгенофлуоресцентном спектрометре «Спектроскан» в Центральной экоаналитической лаборатории «Регионального центра государственного экологического контроля и мониторинга по Брянской области» в соответствии с утверждёнными для данного прибора методиками. Уровень опасности веществ-загрязнителей устанавливали по ГН 2.1.7.2041-06 и ГН 2.1.7.2042-06.

Токсичность почвенных вытяжек на цериодафнии (*Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg) определяли по ФР 1.39.2007.03221, на хлорелле (*Chlorella vulgaris* Beijer) по ПНДФТ 14.1:2:3:4.4.10-04, всхожесть на салате (*Lactuca sativa* L.) по ГОСТ 12038-84 в лаборатории биотестирования и биомониторинга указанного Регионального центра.

Варианты в опыте:

- 1.Территория ППК, участок промывки;
- 2.Территория ППК, участок пропарки;
- 3.Служебная территория ППК.

Цветная осадочная реакция Кимбаровского дана по работе [1].

### **Результаты исследований**

Экологической оценке состояния территорий промывочно-пропарочных предприятий посвящено немного научных работ [2, 3]. Это связано тем, что крайне сложно для подобных условий выбрать эффективные и корректные методы контроля.

Из почти миллиона единиц грузовых вагонов приписки Российской Федерации (код 20), почти 23 % составляют железнодорожные цистерны, которые практически после каждого использования нуждаются в тщательной очистке и обработке. Поскольку основная масса жидких грузов - это нефть и нефтепродукты, неизбежно некоторая часть из них попадает в окружающую среду.

При использовании для очистки цистерн горячей воды (а в некоторых случаях и специальных моющих средств) отдельные углеводородные и иные фракции испаряются и оказываются в атмосферном воздухе. В даль-

<sup>1</sup> Бурак Василий Евгеньевич, канд. сел.-хоз. наук, доцент каф. техносферная безопасность, web\_b@rambler.ru

нейшем они передвигаются с потоками воздуха и загрязняют близлежащие территории, прежде всего почву и растительность промывочно-пропарочных предприятий.

Кроме того, они воздействуют на работников, что может в перспективе отразиться на их здоровье, приводя к появлению профессиональных заболеваний [3].

Логично предположить, что за время работы ППК в почвах накопилось огромное количество загрязняющих веществ. В связи с этим, на территории предприятия нами были отобраны пробы почв и проведено определение валового содержания тяжёлых металлов - индикаторов экологического состояния антропогенных экологических систем.

Нами учтено, что территория ППК была подвержена значительному инженерно-техногенному воздействию, что привело к появлению в верхних горизонтах почвенного профиля (0-50 см) гравийно-щебёночных включений и прослоек. По этой причине, для обеспечения корректности исследований отбор проб осуществлялся по всем вариантам только на доступную глубину 0-5 см.

Изначальное предположение, что территория ППК насыщена тяжёлыми металлами, в ходе проведения анализа образцов не подтвердилось. Ни по одному металлу, в т.ч. по цинку, не отмечено превышение ПДК (ОДК), а по некоторым их количество было ниже уровня точности прибора (таблица 1).

*Таблица 1. Валовое содержание тяжёлых металлов, мг/кг*

Me	ПДК (ОДК)	Класс опасности	Варианты в опыте		
			Территория ППК	Лесной массив	г.Брянск (Советский р-н)
Zn	55,0	1	45,9	73,4	219,2
Pb	32,0	1	27,5	37,3	43,2
Cu	33,0	2	32,3	33,3	62,6
Ni	20,0	2	16,7	20,8	21,8
Cr	-	2	47,9*	62,9*	72,4*
Mn	1500,0	3	73,8*	260,9	388,2
Sr	-	3	63,8	65,2	113,2
V	150,0	3	13,2	43,6	43,0
Fe	-	-	5059,0*	11507,5	14066,8
Ti	-	-	526,7*	2520,3	3139,4

(\* - ниже уровня точности прибора)

Более того оказалось, что почвы лесного массива (контрольный для данной части исследований вариант) накопили достоверно больше марганца, ванадия и железа, а по цинку превысили предельно-допустимый уровень содержания. Подобное явление часто бывает характерно для рекреационных, лесозащитных и парковых массивов [4].

Особенно разителен контраст по содержанию тяжелых металлов между почвами городских территорий г.Брянска (близкими по механическому составу) и исследуемыми почвами ППК. Установлено, что в них достоверно больше цинка, меди, марганца, стронция, ванадия, железа и титана. Содержание цинка и меди превышает ПДК в 4,0 и 1,9 раза соответственно.

Обобщая полученные данные, можно утверждать, что в почвах, на которых расположен ППК, валовое содержание тяжелых металлов ниже, чем в лесном массиве и в пределах центрального района г.Брянска. Более того, оно полностью соответствует гигиеническим нормативам.

Содержание тяжелых металлов хоть и является индикаторным показателем, но не отражает в полной мере экологическое состояние территории.

Более информативным является определение токсичности среды биологическими методами [2, 5-7]. Полученные данные считаются интегральными, поскольку живой объект реагирует на все загрязнители – нефтепродукты, детергенты, пестициды, те же тяжелые металлы и т.д. Для обеспечения корректности эксперимента нами проведены исследования на трёх видах тест-культур, относящихся к различным таксономическим группам – салате (царство Plantae, подцарство Embryobionta), цериодафнии (царство Animalia), хлорелле (царство Plantae, подцарство водоросли (Phycobionta)).

Семена салата, используемые в опыте, соответствовали первому классу, т.к. всхожесть в контроле составила 96,7% (ГОСТ 28676.12-90. Семена овощных культур семейства астровых и бурачниковых. Сортовые и посевные качества).

В качестве основных тест-реакций были выбраны следующие – всхожесть семян, средняя длина побега и средняя длина корней. Эти показатели не равнозначны и имеют различную информационную ценность. В отличие от [7], мы считаем, что всхожесть зависит в первую очередь от свойств самих семян и не может рассматриваться как основной показатель. Длина побегов в определённой мере определяется свойствами внешней среды и обязательно учитывается в эксперименте как значимый показатель. Более других показателей важна длина корней салата, т.к. на первом этапе онтогенеза они развиваются быстрее побегов и интенсивнее ингибируются или стимулируются внешними условиями.

Учитывая то, что по скорости роста растения салата в значительной мере отличаются друг от друга, был произведён расчёт длин как всех взошедших растений ( $\bar{X}$ )

так и десяти самых крупных на вариант ( $\bar{K}$ ), что позволяет более широко оценить влияние внешних условий на тест-объект (таблица 2).

*Таблица 2. Результаты биотестирования на проростках салата, 2011 г*

Варианты в опыте	Всхожесть, %	Длина побегов, мм		Длина корней, мм	
		$\bar{X}$	$\bar{K}$	$\bar{X}$	$\bar{K}$
контроль	96,7	10,7±3,3	14,1±1,1	27,7±18,8	48,9±13,0
1	96,7	10,4±3,7	14,2±2,7	72,2±37,5	109,5±9,7
2	83,3	11,8±3,6	14,5±1,5	67,5±33,1	90,5±6,4
3	96,7	12,2±4,2	12,3±1,6	81,7±44,3	103,9±13,3

Основываясь на том, что среда считается токсичной, если хотя бы по одной тест-реакции высшего растения установлено снижение жизнеспособности на 20 и более процентов [6], приходим к выводу – ни по одному показателю такого снижения не отмечено. Во всех вариантах в опыте почву следует рассматривать как нетоксичную. Более того, отмечена тенденция повышения длины корней по средним значениям, а по длине корней самых крупных особей – достоверное различие. Это свидетельствует о наличии в почве некоторого количества легкодоступных биогенных элементов, определяющих её важнейшее свойство – плодородие, а в более широком смысле как признак экологического благополучия на территории ППК.

Биотестирование водных вытяжек из почвенных образцов на традиционных тест-объектах экологических лабораторий цериодафнии и хлорелле подтвердило приведенные выше данные. С учётом действующих в настоящее время нормативных документов почвы территории ППК следует рассматривать как нетоксичные (таблица 3).

*Таблица 3. Результаты биотестирования водных вытяжек почвенных образцов на цериодафнии и хлорелле, 2011 г.*

Варианты в опыте	Тест-объекты			
	Ceriodaphnia		Chlorella	
	Гибель особей, %	Результат биотестирования	Гибель особей, %	Результат биотестирования
контроль	-	проба безвредная*	-	проба не токсична***
1	7,0	то же	5,1	то же
2	20,0	ОТД отсутствует**	11,7	то же
3	17,0	то же	9,0	то же

\* - по ФР 1.39.2007.03221 проба является безвредной, если гибель тест-объектов находилась в пределах 0-10%;

\*\* - по ФР 1.39.2007.03221 считается, что проба не обладает острым токсичным действием (ОТД), если гибель особей не превысила 50%;

\*\*\* - по ПНДФТ 14.1.2:3:4.4.10-04 проба рассматривается как не токсичная, если гибель организмов в эксперименте была до 20% от контроля.

Подводя итог лабораторным исследованиям, можно сделать вывод о том, что территория ППК содер-

жится в благоприятном экологическом состоянии как по концентрации в ней тяжёлых металлов, так и по интегральному показателю – токсичности почвенных вытяжек.

Фитоценотический анализ травостоя, сформированного на почвах ППК к июлю 2011 г позволил установить, что он является относительно бедным по видовому составу, характеризуется неполным покрытием (75-80 %) почвы и слабо развитой надземной массой (таблица 4).

Таблица 4. Сравнительная оценка ценозов травянистых видов, 2011 г

Территория	Площадь покрытия, %	Количество видов, шт/м <sup>2</sup>	Высота травостоя, см	Биомасса, г/м <sup>2</sup>
ППК на песчано-гравийных почво-грунтах	75-80	8-10	15-35	120-250
Луговые ценозы на песчаных почвах	95-100	15-80	27-50	200-1300

Это, по всей видимости, связано с часто практикуемой на железной дороге подсыпкой песка на участке вне верхней строения пути.

Сравнение с аналогичным ценозом в естественных условиях показало, что развитие флоры по показателям продуктивности находится на нижней границе нормы.

Для полной оценки экологической ситуации требуется перейти от оценки биотопа (экотопа) экологической системы к оценке здоровья работника, что совместно с предыдущими исследованиями позволит считать представляемую совокупность наблюдений как полноценную систему экологического мониторинга предприятия.

В 2003 г были проведены наблюдения за состоянием здоровья работников ППК по функциональному состоянию сердечно-сосудистой и дыхательной систем, а также по уровню физического здоровья по методикам Г.Л.Апанасенко (1988, 2000) и Н.П.Горбунова (1997, 2003). По всем методикам были отмечены функциональные изменения, описанные в работе [3] у 80 % работников.

Однако, при проведении медицинских осмотров, заболеваний, препятствующих допуску работников к исполнению служебных обязанностей, установлено не было.

Для целей медико-экологического мониторинга, призванного дать ответ на вопрос о наличии патологических изменений в организме человека, вышеуказанные подходы мало пригодны.

С учётом изложенного, в качестве завершающего этапа мониторинга целесообразно, на наш взгляд, включение в процедуру медицинских комиссии для работников ППК и других объектов предприятий экспрессных медицинских анализов, позволяющих, наряду с традиционными наблюдениями, установить наличие патологических процессов и дать их оценку в процентах, что удобно в диагностических целях.

Сравнительный анализ различных методов показал, что наиболее полно этим требованиям соответствует цветная осадочная реакция мочи, автором которой является известный советский учёный Я.А. Кимбаровский.

При интоксикациях происходит усиленный распад белков, в результате этого в организме накапливаются токсические амины. Эти вещества производят отравляющее воздействие не только на деятельность мочеполовой системы, но и на весь организм. В результате усиленного и видоизменённого белкового обмена возникает недостаточность компенсаторных механизмов. Указанный эффект не обладает специфическим характером и поэтому не обнаруживается каким-либо биохимическим методом определения кроме цветной осадочной реакции Кимбаровского (ЦОРК) [8].

ЦОРК – реакция качественная. Её суть состоит в периодическом анализе мочи работника, основанном на её взаимодействии с 5 % водным раствором азотнокислого

серебра. По изменению цвета осадка от белого до чёрного устанавливается степень патологии организма.

Реакция неспецифична для какого-либо заболевания или патологического фактора. Она дает только общее представление о тяжести патологического процесса и может служить дополнительным интегральным показателем изменения обмена веществ, выявляющемся при обширном круге патологических состояний [1, 8].

Методика и алгоритм проведения анализа для условий медико-экологического мониторинга подробно описаны нами в [1]. Интенсивность ЦОРК (средняя) считается:

- от 100 до 85 % весьма резко положительной;
- от 85 до 70 % резко-положительной;
- от 70 до 50 % положительной;
- от 50 до 30 % слабо-положительной;
- от 30 до 20 % сомнительной;
- от 20 до 0 % от верхней границы нормы до отрицательной.

Эффективность ЦОРК в диагностике заболеваний была подтверждена на примере лечения в стационаре больных гайморитом и отитом. Показатели общей реактивности устанавливались по следующей схеме (таблица 5):

Таблица 5. Перечень исследуемых показателей

Варианты в опыте	Показатели	Единицы измерения	Норма
1	Гидрофильная проба	мин	50-60
2	Альбумины	г/дм <sup>3</sup>	35-50
3	Альфа-глобулины	%	7-13
4	Бета-глобулины	%	8-15
5	Гамма-глобулины	%	12-22
6	Общий белок	г/дм <sup>3</sup>	65-85
7	СОЭ	мм/час	2-10 (♂) 3-14 (♀)
8	ЦОРК	%	0

На рисунке представлен сравнительный анализ значимости исследуемых показателей при указанных заболеваниях.

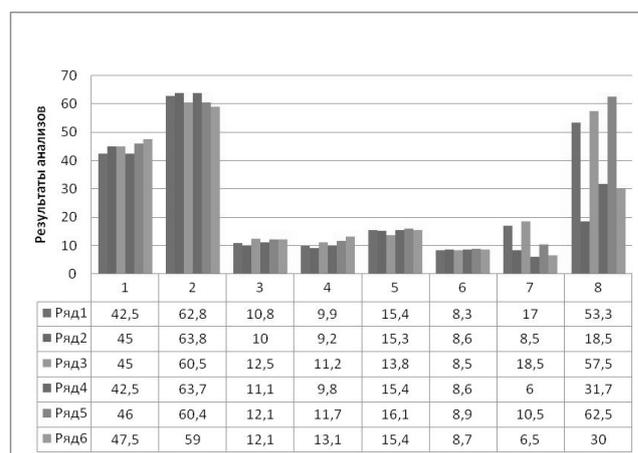


Рисунок. Эффективность лечения простудных заболеваний: ряд 1,3,5,7 – до лечения, ряд 2,4,6,8 – после лечения.

По 1-6 вариантам различия в ситуациях до и после лечения малозаметны. Только СОЭ и ЦОРК (варианты 7 и 8 соответственно) дают значимые различия.

СОЭ в данной ситуации является специфическим показателем для простудных заболеваний, а ЦОРК – неспецифическим.

Отличительной чертой метода является его экспрессность, т.е. возможность проведения лабораторного исследования одной пробы в течение 1-2 минут.

Сочетание химических, биологических и медицинских методов позволяет дать комплексную оценку

экологического состояния производственных предприятий вне зависимости от их хозяйственной принадлежности, применяемой технологии производства работ и степени защищённости персонала.

### **Выводы**

1. Валовое содержание тяжёлых металлов в почвах указанного предприятия (ППК) находится в пределах экологических норм и значительно ниже, чем в аналогичных почвах лесополосы и городской территории.

2. Биологические методы мониторинга подтвердили экологическую безопасность почв при определении её токсичности на трёх тест-объектах – цериодафнии, хлорелле и салате.

3. Показатели фитоиндикации исследуемой территории находятся на нижней границе нормы.

4. ЦОРК является эффективным и логичным завершающим этапом системы экологического мониторинга предприятия.

### **Литература**

1. *Рудакова Т.А., Бурак В.Е.* Цветная осадочная реакция Кимбаровского. Методические указания для применения метода в эколого-медицинском мониторинге. Брянск: Ладомир, 2010. 39 с.

2. *Донцов С.А.* Оценка токсичности почв промывочно-пропарочных станций методом биотестирования / IV Межвуз. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы социально-экологической и экономической безопасности Поволжского региона» май 2011 г. Казань. Сб. материалов конф. Казань: Казанский филиал МИИТ, 2011. Часть II. С.15-20.

3. *Нестерова Е.Н., Бурак В.Е., Вишневская В.В., Желтова Н.В.* Влияние паров нефтепродуктов на состояние здоровья рабочих на промывочно-пропарочных поездах отделения Московской железной дороги Брянск-Восточный // Медицинская экология: материалы II Международ. науч.-практ. конф., Пенза, 15-16 мая 2003 г. Пенза: ПДЗ, 2003. С.17-18.

4. *Бурак В.Е.* Валовое содержание тяжёлых металлов в почвах рекреационных территорий железнодорожных станций // Научно-педагогические проблемы транспортных учебных заведений: материалы международного науч.-практ. конф., Брянск, 27-28 февраля 2009 г. Брянск: БФ МИИТ, 2009. С.157-161.

5. *Бурак В.Е.* Биотестирование. Методические указания для лабораторных работ с элементами УИРС по общей экологии. Брянск: РИО БГИТА, 2004. 14 с.

6. *Маячкина Н.В., Чугунова М.В.* Особенности биотестирования почв с целью их экотоксикологической оценки // Вестник Нижегородского университета. 2009. № 1. С.84-93.

7. *Шабалина О.М., Демьяненко Т.Н.* Фитотестирование городских почв с помощью салата посевного (*Lactuca sativa*) и клевера белого (*Trifolium repens*) // Проблемы современной аграрной науки: материалы международного заочной науч. конф. Красноярск, 2008. С. 84-92.

8. *Кимбаровский Я.А.* О цветной осадочной реакции // Врачебное дело. 1950. № 8. С.715-718.