Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК 631.422

Картографирование результатов оценки загрязнения тяжёлыми металлами почв г. Владимира с применением ГИС-технологий

Трифонова Т.А.*, Чугай Н.В.*, Кулагина Е.Ю.*, Курочкин И.Н.*, Краснощеков А.Н.*, Ларионов М.В.**

****Владимирский государственный университет***

*****Балашовский институт (филиал) Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского***

Аннотация

С целью анализа пространственного распределения загрязнения тяжелыми металлами урбанизированных почв, прилегающих к школам города Владимира, проведен отбор и исследование почвенных образцов. Территория города представлена дерново-среднеподзолистыми и серыми лесными урбанизированными почвами. Почвенные образцы проанализированы на содержание свинца, цинка, меди, никеля, марганца, кобальта и хрома. Проведено сравнение полученных показателей с предельно допустимыми концентрациями и фоновыми значениями. Установлены закономерности между близостью исследуемых участков к промышленным предприятиям и концентрацией тяжёлых металлов в почве. Построение интерполированных поверхностей с нанесением на них данных анализа позволило выявить уровень загрязнения как вблизи школ, так и на территории всего города. Рассчитаны коэффициенты накопления тяжёлых металлов в почвах и выявлены приоритетные загрязнители с наибольшими показателями коэффициента накопления. При помощи расчёта суммарного показателя накопления территория города дифференцирована по степени опасности.

Ключевые слова: УРБОЗЁМЫ, ТЯЖЁЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ, ВЫБРОСЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ, ПДК, ТОКСИЧНОСТЬ, ГИС-ТЕХНОЛОГИИ

Введение

Одной из важнейших задач современности является поддержание состояния

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

окружающей среды на уровне, соответствующем нормальной жизнедеятельности человека и общества.

Процессы индустриализации и урбанизации приводят к повышению уровня антропогенного загрязнения природных объектов – атмосферы, почвы и поверхностных вод, что отрицательно сказывается на жизнедеятельности живых организмов и человека.

Большинство тяжелых металлов обладают низкой подвижностью и высокой способностью накапливаться в тканях и клетках живых организмов и поглощающих средах, что способствует их аккумуляции и продолжительному сохранению [1]. Период полувыведения тяжелых металлов из почвы и донных отложений в результате вымывания, потребления растениями, эрозии и дефляции составляет десятки и сотни лет.

Одним из важнейших элементов экосистемы является почва. Являясь многоуровневой экосистемой, почва играет важнейшую роль в круговороте тяжёлых металлов. Процессы поведения тяжёлых металлов в почве ещё полностью не изучены в связи с огромным разнообразием почв, отличающихся составом, окислительно-восстановительными условиями, реакционной способностью и наличием сложных биогеоценозов. Тяжёлые металлы в почвах могут находиться в различных формах: растворимой, коллоидной, в кристаллической решётке минералов, в виде комплексных соединений органических веществ почв, а также в составе биоты. Наряду с этим, тяжёлые металлы, поступая из почвы в растения, а затем в организмы животных и человека, обладают способностью к биоаккумуляции [2].

Особого внимания требует состояние почвы городских территорий, так как они выполняют важные экологические функции, в них замыкаются биогеохимические круговороты веществ, осуществляется регуляция газового обмена и др. [3].

В урбанизированных почвах, характеризующихся слабощелочной или нейтральной реакцией, тяжёлые металлы остаются в формах оксидов и гидроксидов, плохо растворимых в воде. В связи с этим их миграция затруднена, что создаёт предпосылки для их накопления.

Одним из основных последствий изменения кислотности почвы является изменение форм нахождения в ней различных элементов, преимущественно, тяжелых металлов. В данных почвах, слабощелочных и нейтральных, что характерно для урбанизированных почв, тяжелые металлы будут оставаться в формах оксидов и

гидроксидов, которые плохо растворимы в воде, в связи с этим их миграция затруднена, что создает предпосылки для их накапливания.

Опасность загрязнения почвы тяжелыми металлами в концентрациях, превышающих предельно допустимые нормативы, определяется возможностью вторичного загрязнения воздуха почвенной пылью. В результате воздействия солей тяжелых металлов происходит угнетение процессов жизнедеятельности микрофлоры и микрофауны почвы, нарушение ее биохимических процессов, приводящих к ухудшению состояния или гибели растительности на данной территории [4].

Целью настоящей работы являлась оценка степени загрязнения тяжёлыми металлами почв города Владимира. Особенностью исследования являлся приоритетный анализ загрязненности почв на пришкольных территориях, так как именно детское население является наиболее уязвимой группой населения к заболеваниям, которые могут быть связаны с накоплением тяжелых металлов в почве.

Материалы и методы

Объектом исследования являются почвы города Владимира. Сам город находится в зоне дерново-среднеподзолистых и серых лесных почв [5]. Однако исследования проводились на урбанизированных территориях, для которых характерны размытые почвенные горизонты, наличие посторонних включений в виде строительного мусора и др.

Город Владимир является промышленным центром района и административным центром Владимирской области. Согласно имеющимся данным, воздушный бассейн г. Владимира ежегодно подвергается высокой нагрузке за счет газопылевых выбросов промышленных предприятий города и автомобильного транспорта [6]. Загрязнение почв происходит, главным образом, за счёт газопылевых выбросов предприятий: ООО «Завод Автоприбор», ОАО «Владимирский химический завод», ОАО «НПО Магнетон», АО «ВПО Точмаш», ОАО «Владимирский завод «Электроприбор» (рис. 1).

Оценка загрязнения урбанизированных почв тяжёлыми металлами проводилась в три этапа.

На первом этапе был проведен отбор проб и пробоподготовка почвы в

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

соответствии с требованиями ГОСТ 14.4.4.02-84 «Охрана природы. Методы отбора и подготовки проб для химического, микробиологического и гельминтологического анализа».

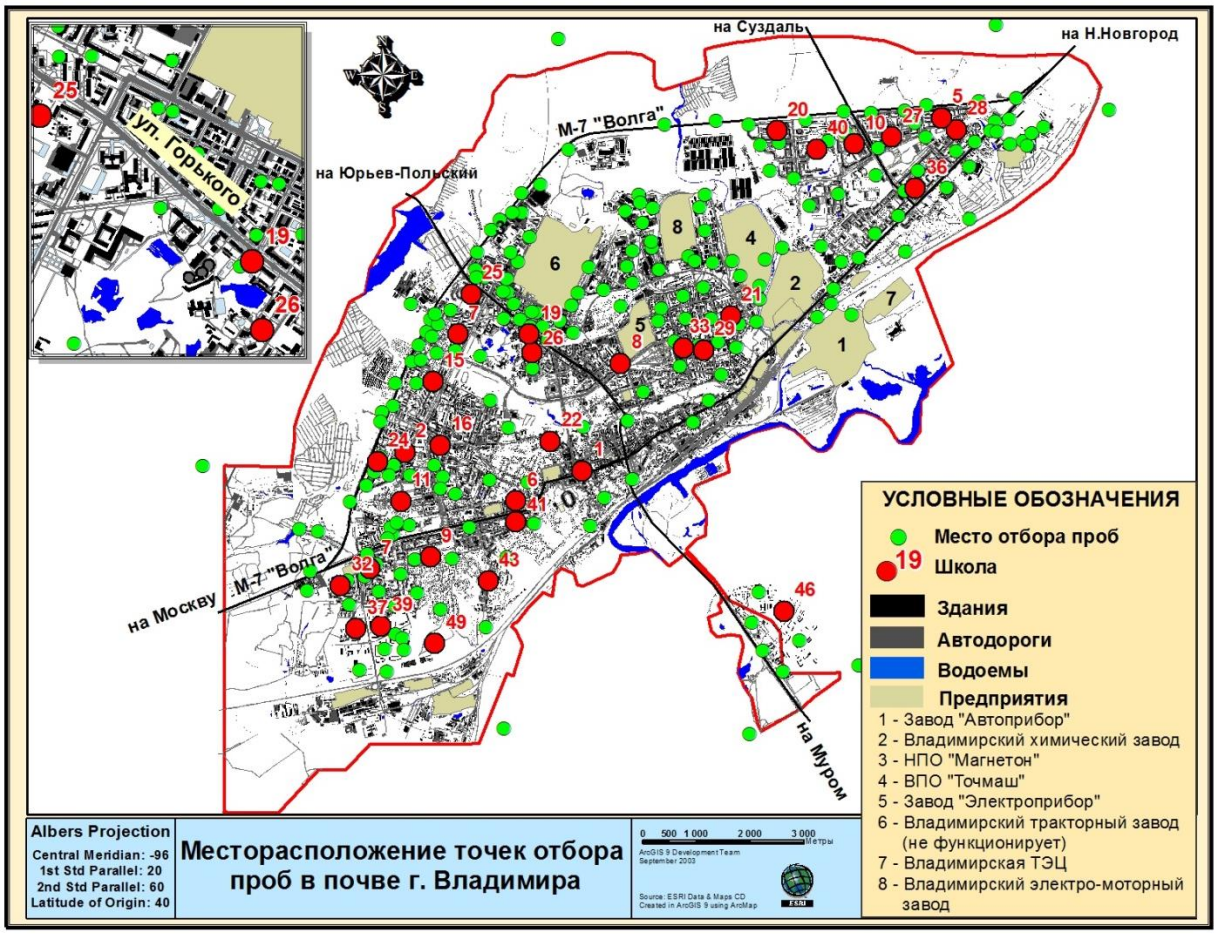

Рис. 1. Точки пробоотбора

Всего на территории города было отобрано 238 образцов, в том числе 36 – на территориях пришкольных участков в трех районах города. В качестве контроля была взята проба на территории школы №46 в мкр. Загородный парк.

На втором этапе проведён анализ содержания тяжелых металлов в исследуемых образцах почвы методом рентгенофлуорисцентной спектроскопии с помощью рентгенофлуорисцентного кристалл-дифракционного сканирующего спектрометра «СПЕКТРОСКАН МАКС G».

На третьем этапе с использованием дополнительного модуля Spatial Analyst в

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

геоинформационной системе ArcGIS проведена интерполяция содержания тяжелых металлов в почве для выявления пространственного распределения загрязнителей как на территории всего города, так и на пришкольных участках.

Результаты исследований

В результате исследования получены данные по содержанию тяжелых металлов в исследуемых образцах почвы в разных районах города, в том числе на пришкольных территориях.

Сравнивая полученные результаты с действующими гигиеническими нормативами (ГН 2.1.7.2041-06) [7], установили, что среднее содержание тяжелых металлов в образцах почв, отобранных с пришкольных территорий различных районов г. Владимира, превышает среднее значение содержания тяжелых металлов в контрольных образцах почвы. Это может быть связано с выбросами промышленных предприятий, находящихся на территории г. Владимира, и большим количеством автомобильного транспорта. В западной и центральной частях города приоритетными загрязнителями являются Zn, Cu и Pb. Полученные показатели содержания цинка в почвах превышают фоновое значение в 2,3 раза. Превышение фоновых значений концентрации свинца составляет 4,7 раз, меди – в 2 раза. Для западных районов города приоритетными загрязнителями являются выхлопные газы транспортных потоков, движущихся по основным автомобильным магистралям города. Загрязнение почв северной части города тяжёлыми металлами обусловлено близостью «Владимирского тракторного завода».

Превышение нормы содержания тяжелых металлов в почве центральной и восточной частей города связано с большой концентрацией промышленных зон, находящихся на этой территории. Это Владимирский химический завод, заводы «Автоприбор» и «Электроприбор», район Владимирской ТЭЦ и прилегающая к ней промышленная зона. Также загрязнение обусловлено большим потоком автотранспорта, так как данный район находится на слиянии двух крупных транспортных магистралей: федеральной трассы М7 «Волга» и одной из центральных магистралей города Владимира (Суздальский проспект).

В черте города обнаружено значительное превышение фоновых значений и ПДК по большинству анализируемых металлов.

Так, концентрация кобальта в городских почвах превышает предельно допустимую

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

концентрацию практически на всей территории города, исключая небольшой участок в центральной части города, а также район, отделённый от основных промышленных зон рекой. Наибольшая концентрация кобальта фиксируется в северо-западной части города, что обусловлено близостью к федеральной трассе М7, а также повсеместно в восточной части города, куда ветер может относить большую часть загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу крупными предприятиями города – Владимирским химическим заводом, ВПО «Точмаш» и городской теплоэлектроцентралью.

Концентрация меди превышает фоновые значения практически на всей территории города. Очаги превышения ПДК выявлены в восточной части города и на территориях, прилегающих к федеральной трассе М7. Помимо этого, высокая концентрация меди в почвах выявлена на участке, примыкающем к территории завода «Электроприбор».

Наиболее напряжённая ситуация – с загрязнением почв свинцом: наблюдается превышение фоновых значений и предельно допустимых концентраций практически повсеместно, на отдельных участках фиксируется превышение ПДК в 4 раза и выше. Высокая концентрация свинца в городских почвах также объясняется наличием промышленных предприятий, в том числе химической промышленности, а также потоками автотранспорта, проходящего через город. Очаги с низкой концентрацией свинца, не превышающей ПДК и фоновых значений, наблюдаются в жилых массивах в восточной части города. К областям с высокой концентрацией можно отнести центральную часть города и участок в западной части, расположенный вблизи от федеральной трассы.

Предельно допустимая концентрация хрома (100 мг/кг) на территории города не превышена, однако есть участки, где степень загрязнения составляет до 0,9 ПДК. В основном, эти территории расположены в восточной части города. Фоновые значения превышены на всей территории города, за исключением района, отделённого от города рекой, и небольшого очага в северной части города, рядом с территорией не функционирующего тракторного завода.

Распределение концентраций марганца и никеля схоже с показателями концентраций кобальта и имеет общую тенденцию к увеличению концентраций в восточном направлении, где это обусловлено выбросом в атмосферу загрязняющих веществ промышленными предприятиями. Превышений ПДК по концентрации марганца

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

и никеля в почвах не выявлено; фоновые значения незначительно превышены лишь на нескольких участках.

Наиболее высокие концентрации цинка наблюдаются на участках, расположенных вблизи основных промышленных предприятий (рис. 2). В отличие от других тяжёлых металлов, здесь наблюдается обратная тенденция к снижению загрязнённости почв в восточном направлении. Однако имеет место превышение ПДК на обширных территориях. Низкой концентрацией закономерно отличаются территории, находящиеся на большом расстоянии от основных предприятий-загрязнителей.

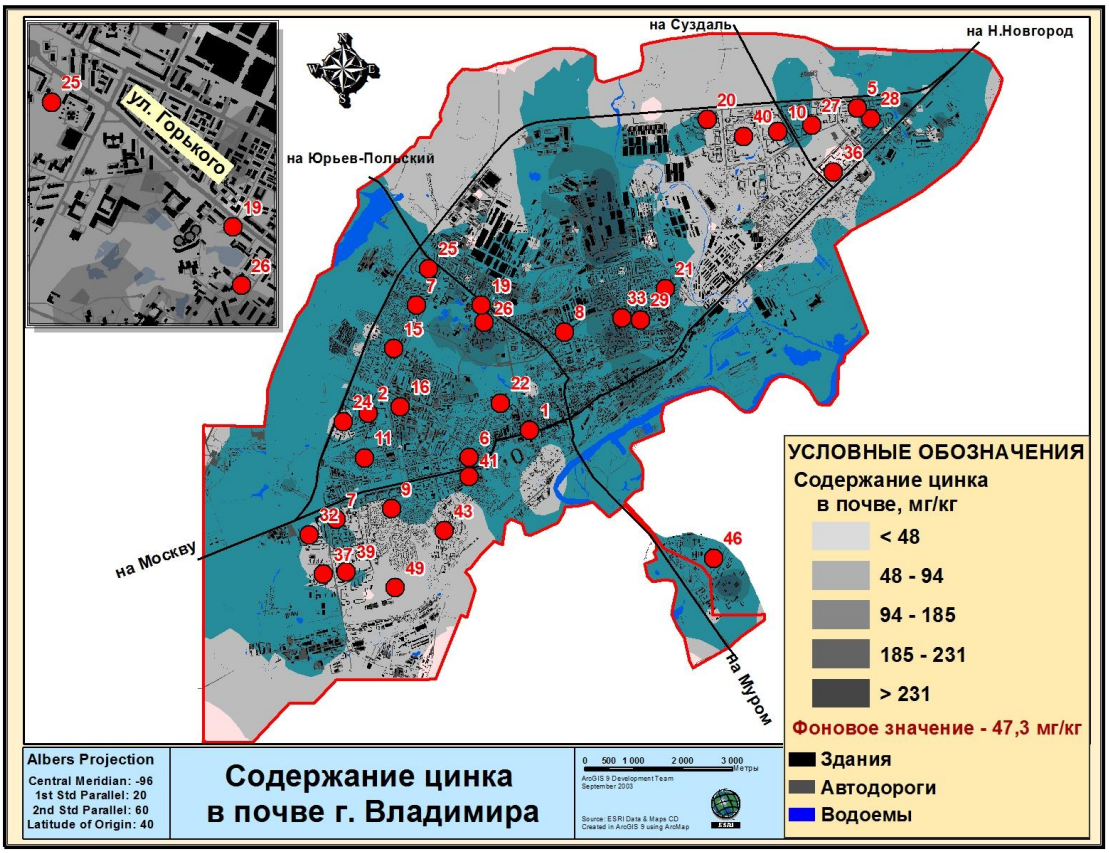

Рис. 2. Показатели концентрации цинка в городских почвах

Для определения степени загрязнения почв тяжёлыми металлами рассчитан коэффициент накопления тяжёлых металлов в почве:

$$K_н = \frac{c_i}{c_{фi}},$$

где: $K_н$ – коэффициент накопления;

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

C_i – содержание тяжёлых металлов в почве (мг/кг);

$C_{фi}$ – фоновое содержание тяжелых металлов в почве (мг/кг).

Результаты расчёта коэффициента накопления представлены в таблице 1.

Таблица 1. Коэффициенты накопления тяжёлых металлов почвами

Район	№ школы	Коэффициент накопления тяжелых металлов почвами									
		Sr	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	Mn	Cr	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ленинский	6	0,32	6,43	3,50	3,23	1,67	0,77	1,02	0,87	1,40	0,66
	9	0,37	6,22	3,31	1,60	1,83	0,71	0,77	0,70	1,28	0,90
	14	0,38	4,30	2,71	2,83	1,80	1,06	0,60	0,60	1,38	0,35
	16	0,35	4,83	2,98	1,97	1,37	0,79	0,65	0,85	1,39	0,74
	31	0,33	5,63	3,66	1,79	1,31	0,71	0,56	0,95	1,35	0,67
	32	0,31	4,82	3,24	2,18	1,23	0,54	0,63	0,53	1,11	0,48
	37	0,40	3,51	2,27	0,86	1,55	0,58	0,80	0,52	1,26	0,69
	39	0,45	2,91	2,00	1,26	1,61	0,75	0,87	0,56	1,16	0,64
	41	0,38	2,79	1,74	1,72	1,47	0,70	0,55	0,86	1,43	0,82
	42	0,39	2,90	2,06	0,86	1,17	0,58	0,64	0,76	1,16	0,71
	43	0,36	4,13	2,79	0,88	1,58	0,62	0,84	0,59	1,50	0,68
	44	0,39	3,43	2,39	2,00	1,62	0,66	0,89	0,79	1,30	0,75
	сред. знач.	**0,37**	**4,33**	**2,72**	**1,77**	**1,52**	**0,71**	**0,74**	**0,72**	**1,31**	**0,67**
Октябрьский	1	0,35	6,21	3,54	5,61	1,40	0,44	0,12	0,57	1,10	0,24
	2	0,40	2,37	1,60	1,53	1,97	1,10	1,47	1,28	1,75	1,15
	7	0,36	3,80	2,43	1,91	1,39	0,72	0,34	0,77	1,26	0,61
	8	0,75	4,26	2,22	1,52	2,02	0,84	0,99	0,89	1,21	0,77
	11	0,34	12,04	6,71	4,93	2,12	0,85	0,89	0,56	1,42	0,50
	15	0,33	3,22	2,15	1,86	1,20	0,63	0,82	0,74	1,21	0,55
	19	0,13	2,70	1,51	0,14	1,04	0,14	0,45	0,04	0,82	0,82
	21	0,43	5,13	3,32	6,16	1,61	0,81	0,73	0,78	1,47	0,58
	22	0,32	4,74	3,12	2,16	1,38	0,57	0,65	0,64	1,12	0,55
	24	0,33	5,63	3,66	1,79	1,31	0,71	0,56	0,95	1,35	0,67
	25	0,34	3,83	2,51	0,82	1,66	0,60	0,86	0,49	1,17	0,61
	26	0,41	4,98	3,13	3,82	1,63	0,97	0,65	0,95	1,69	0,91
	29	0,36	6,46	3,94	11,52	1,78	0,74	0,84	0,88	1,62	0,67
	33	0,31	5,01	3,11	2,05	1,44	0,58	0,61	0,70	1,04	0,50
	сред. знач.	**0,37**	**5,03**	**3,07**	**3,27**	**1,57**	**0,69**	**0,71**	**0,73**	**1,30**	**0,65**

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Район	№ школы	Коэффициент накопления тяжелых металлов почвами									
		Sr	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	Mn	Cr	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Фрунзенский	5	0,37	11,89	6,83	1,70	1,84	0,94	1,52	1,40	1,74	1,17
	10	0,41	2,02	1,76	0,94	1,34	0,70	1,48	0,86	1,56	0,85
	13	0,37	6,48	4,17	2,62	1,32	0,95	1,52	0,79	1,51	0,84
	20	0,36	2,71	1,76	1,16	1,32	0,72	0,47	0,69	1,33	0,86
	28	0,40	3,48	2,46	1,40	1,65	0,95	1,59	1,30	1,76	1,21
	34	0,41	3,45	2,21	2,98	2,12	0,95	0,97	0,99	1,76	0,99
	36	0,38	2,47	1,82	1,36	1,55	0,71	1,09	0,91	1,36	0,92
	38	0,43	2,27	1,20	1,29	2,04	0,97	1,10	1,30	1,62	1,09
	40	0,37	4,24	2,43	0,80	1,62	0,58	0,75	0,52	1,29	0,51
	45	0,48	4,12	2,73	1,84	1,61	0,55	0,83	0,76	1,32	0,79
	сред. знач.	**0,39**	**4,33**	**2,74**	**1,58**	**1,64**	**0,83**	**1,17**	**0,97**	**1,55**	**0,94**
Конт-роль	46	0,25	3,52	2,39	0,53	0,87	0,27	0,36	0,32	0,92	0,25
	сред. знач.	**0,37**	**3,82**	**2,56**	**1,19**	**1,24**	**0,41**	**0,60**	**0,54**	**1,12**	**0,52**

Из полученных данных видно, что приоритетными загрязнителями почв являются: Pb (коэффициент накопления 2,02-12,04), Zn (0,14-11,52) и Cu (0,87-2,12).

Для определения уровня загрязнения почв тяжелыми металлами, а также оценки экологической обстановки рассчитан суммарный показатель загрязнения (Z_c) данными элементами, который позволяет гигиенически обоснованно дифференцировать территорию по степени опасности.

Расчет суммарного показателя загрязнения почв элементами проводили по формуле [8]:

$$Z_c = \sum_1^n K_i - (n-1),$$

где: Z_c – суммарный показатель загрязнения почв тяжелыми металлами;

K_i – коэффициент концентрации i-го компонента загрязнения;

n – число определяемых суммируемых веществ.

На основе применения современной геоинформационной системы ArcGIS разработана карта суммарного показателя загрязнения (рис. 3).

Исходя из полученных данных, высокоопасный уровень загрязнения почв тяжёлыми металлами наблюдается на территории предприятий: Владимирский электромоторный завод, Владимирский тракторный завод. Загрязнение почвы на территории школы №33 возможно объяснить расположением складов и свалок в начале XX века.

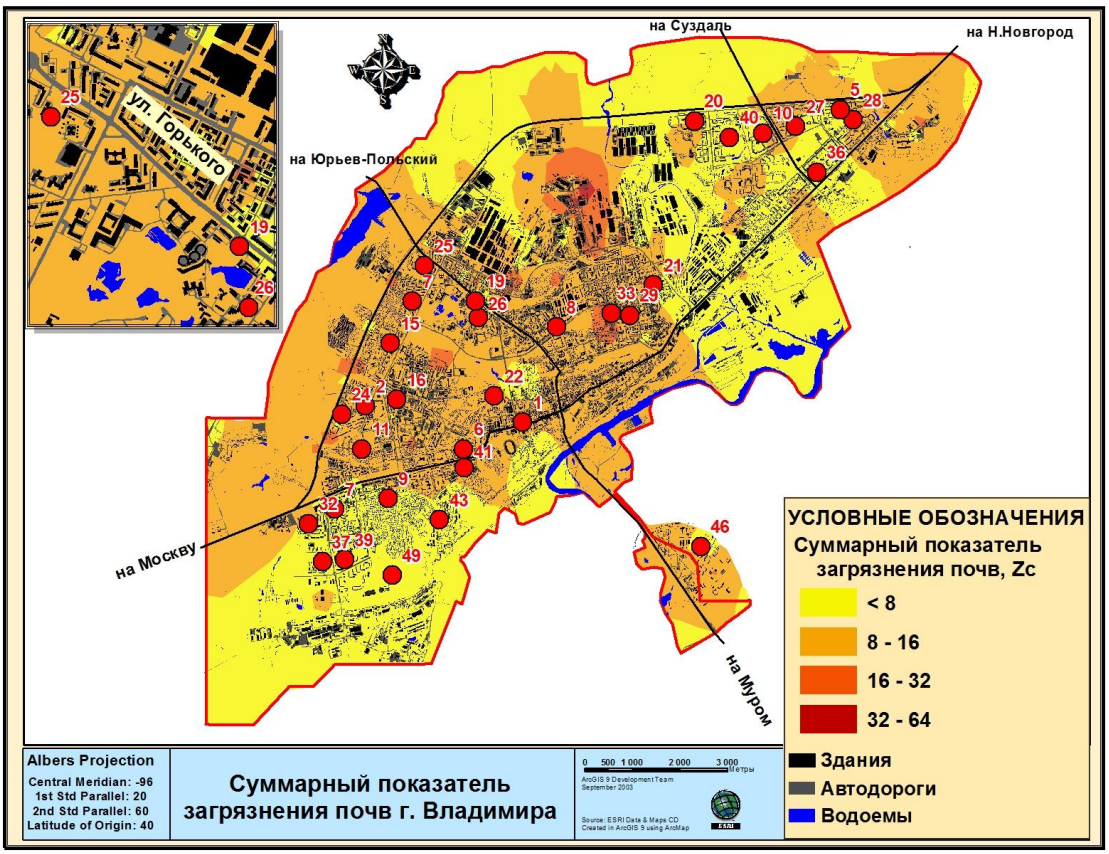

Рис. 3. Суммарный показатель загрязнения почв тяжёлыми металлами

Почвы на территории школ на юго-западе и на северо-востоке города характеризуются низким уровнем загрязнения, что объясняется достаточно новой застройкой региона. Территории большинства школ, расположенных в исторической части города, характеризуются более высоким – допустимым уровнем загрязнения.

Выводы

1. Проведенный анализ содержания тяжелых металлов показал, что загрязнение почв г. Владимира свинцом превышено более чем в 4 раза. Загрязнение почв

марганцем и никелем – умеренное: выявлены незначительные превышения фоновых значений. Также установлено, что наиболее высокие показатели концентраций тяжёлых металлов наблюдаются в жилых массивах восточной части города, в непосредственной близости от основных предприятий-загрязнителей.

2. Приоритетными загрязнителями для почв города Владимира являются свинец, медь и цинк, обладающие наиболее высокими показателями коэффициента накопления.

3. Для определения уровня загрязнения почв тяжелыми металлами, а также оценки экологической обстановки рассчитан суммарный показатель загрязнения (Z_c) данными элементами, который позволяет гигиенически обоснованно дифференцировать территорию по степени опасности.

4. На основе применения современной геоинформационной системы ArcGIS разработаны карты загрязнения тяжелыми металлами территории города, а также карта суммарного показателя загрязнения, по которой выявлено, что уровень загрязнения городских почв можно охарактеризовать как «допустимый»; опасный уровень загрязнения почв тяжёлыми металлами наблюдается на территории промышленных предприятий.

5. Почвы на территории школ на юго-западе и на северо-востоке города характеризуются низким уровнем загрязнения, на территориях большинства остальных школ выявлен допустимый уровень загрязнения почвы.

Список использованных источников

1. Боев В.М., Быстрых В.В., Горлов А.В., Карпов А.И., Кудрин В.И. Урбанизированная среда обитания и здоровье человека. – Оренбург: Димур. – 2004. – 240 с.

2. Kharkan J., Sayadi M.H., Rezaei M.R. Investigation of heavy metals accumulation in the soil and pine trees // Environmental health engineering and management journal. – 2019, v. 1 (6). – P. 17-25.

3. Evans C.V., Fanning D.S., Short J.R. Human-influenced soils // Agron. Monogr. – 2000, v. 39. – P. 33-67.

4. Shi T.R., Ma J., Zhang Y.Y., Liu C.S. and others. Status of lead accumulation in agricultural soils across China (1979-2016) // Environmental international. – 2019, №129. – P. 35-41.

5. Экологический атлас бассейна реки Клязьмы: Человек в окружающей среде / под ред. д-ра биол. наук, проф. Т.А. Трифоновой; Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ. – 2018. – 312 с. ISBN978-5-9984-0879-3.

6. О состоянии окружающей среды и здоровья населения Владимирской области в 2018 году: ежегодный доклад // Администрация Владим. обл., Департамент природопользования и охраны окружающей среды. – Владимир: Транзит-ИКС. – 2019. – 118 с.

7. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве».

8. Методические указания МУ 2.1.7.730-99 «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест».

==========

Цитирование:

Трифонова Т.А., Чугай Н.В., Кулагина Е.Ю., Курочкин И.Н., Краснощеков А.Н., Ларионов М.В. Картографирование результатов оценки загрязнения тяжёлыми металлами почв г. Владимира с применением ГИС-технологий // АгроЭкоИнфо. – 2020, №1. – http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/1/st_109.pdf.