КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ГИС-АНАЛИЗ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ АНОМАЛИИ ПОЧВО-ГРУНТОВ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

А.Н.Огурцов¹, К.А.Бахматова², Ю.Л.Машкин³

^{1,2}факультет географии и геоэкологии СПбГУ

Санкт-Петербург, Россия

E-mail: aogurcov@yandex.ru

³Центр экологического проектирования, инжиниринга и инноваций (ООО «ЦЭПИИ»)

Санкт-Петербург, Россия

CARTOGRAPHIC MODELING AND GIS-ANALYSIS OF THE GEOCHEMICAL ANOMALY OF SOILS URBAN AREA

A.N. Ogurtsov¹, K.A.Bahmatova², Yu.L.Mashkin³

^{1,2}Faculty of geography and geoecology St-PSU

Saint Petersburg, Russia

E-mail: aogurcov@yandex.ru

Center of ecological design, engineering and innovations (Ltd. CEDEI)

Saint Petersburg, Russia

Abstract. The study of the spatial distribution of heavy metals in urban soils is very important in order to identify the areas of pollution and assess the ecological state of the urban environment. The present study conducted as a survey of soils in the suburban area of St. Petersburg with a view to identify spatial distribution of several heavy metals and of possible geochemical anomalies. The study of the spatial distribution pollutants was conducted using geographic information system (GIS) technique.

The results indicated that soils were significant enriched with lead and copper in the field of research. Spatial distribution maps of total pollution index (Z_c), based on GIS моделировании, indicate existence of complex polyelement geochemical anomaly, which is located in a northeast part of the territory of research. We obtained estimates of the area of the spatial distribution of geochemical anomaly. The research results may be helpful for the city government.

Исследования урбосистем, оценка их экологического состояния приобретают в последние годы все большее значение, что обусловлено быстрыми темпами процесса урбанизации и все большим ухудшением качества городской среды. Это особенно актуально для районов крупных мегаполисов.

Важное место в этих исследованиях отводится вопросу загрязнения депонирующих сред и в частности почвенного покрова. Ряд исследователей [Макаров, Новаковский и др., 2002] отмечают, что почвы в ряду депонирующих сред в наибольшей степени испытывают техногенный пресс химических элементов и оценка их экологического состояния должна учитываться при интегральной оценке окружающей среды, в частности, на урбанизированных территориях [Добровольский, Смагин и др., 2011; Курбатова, Герасимова и др., 2005]. Неслучайно поэтому геохимические исследования почвенного покрова включены в комплекс инженерно-экологических изысканий (ИЭИ). Такие исследования в рамках ИЭИ были проведены в пригородном районе Санкт-Петербурга.

Участок изысканий, в соответствии с кадастром исследуемой территории, входит в производственную зону "Ломоносовская-Мартышкино" и относится к общественно-деловой подзоне специализированных общественно-деловых объектов, расположенных на территории периферийных и пригородных (включая исторические) районов города Санкт-Петербурга, с включением объектов инженерной инфраструктуры.

Участок расположен на южном побережье Финского залива, на выровненной поверхности второй террасы, с абсолютными отметками 26,4-28,1 м. Согласно почвенно-географическому районированию России и сопредельных государств [Добровольский, Урусеvская, 2006], и Северо-Запада России [Гагарина, Матинян и др., 1995], участок находится на территории Чудского округа Прибалтийской провинции. Округ в целом характеризуется низменным равнинным рельефом и преобладанием песчаных почвообразующих пород различного генезиса, нередко подстилаемых моренными суглинками, озерно-ледниковыми глинами, а в некоторых случаях — коренными кембрийскими глинами.

Факторами дифференциации почвенного покрова служат мезорельеф и уровень залегания грунтовых вод. Мелиоративные каналы ограничивают участок с востока, юга и запада. С мелиоративной сетью соединен ручей, который пересекает участок в направлении с юго-востока на северо-запад. При близком залегании грунтовых вод каналы и ручей способствуют преобладанию проточного режима увлажнения, благоприятствующего аэрации почв. Последнее обстоятельство объясняет тот факт, что поверхностные органогенные горизонты почв участка отличаются повышенной степенью разложения органического вещества.

Почвообразующие породы представлены двучленами (валунными супесями, подстилаемыми на глубине 60-80 см моренными (валунными) суглинками), и собственно моренными суглинками, которые выходят на поверхность по наиболее низким отметкам (вдоль русла ручья). Песчаные и супесчаные породы

участка представляют собой флювиогляциальные или перемытые моренные отложения, о чем свидетельствует значительная примесь дресвы, щебня и валунов (25-60% крупнозема, представленного в основном угловатыми неокатанными обломками гранита). Содержание крупнозема в суглинистой толще ниже, чем в песчаной, и составляет 9-11%. На контакте пород происходит резкое снижение водопроницаемости почвенно-грунтовой толщи и, как следствие, формируется горизонт верховодки. На момент обследования почв вода выступала с глубины 12-15 см в понижениях, 35-40 см на ровных участках и 50-70 см на повышенных участках.

Приводимые ниже наименования почв даны в соответствии с «Классификацией и диагностикой почв России» [2004]. Почвенные разности в пределах участка относятся к двум отделам: альфегумусовых и глеевых почв. В наиболее дренированных местоположениях залегают подзолы перегнойно-торфянистые иллювиально-железистые (иллювиально-гумусово-железистые) глеевые, на песках и супесях, подстилаемых суглинками. Эти почвы развиваются под сосновыми и смешанными березово-сосновыми лесами кустарничково-зеленомошными. В профиле этих почв выделяются следующие горизонты: оторфованная подстилка (O), мощностью 3-5 см, хорошо разложившийся, с прослойками перегнойного материала торфяной горизонт (Th), мощностью 11-15 см; подзолистый горизонт (E) мощностью 13-15 см; иллювиальный горизонт (BHF), переходный горизонт (BG), а далее — глеевый горизонт (G). Все минеральные горизонты песчаные или супесчаные, с включениями каменистого материала. Положение уровня почвенно-грунтовых вод (порядка 70 см) маркирует глубину залегания тяжелосуглинистых отложений, подстилающих песчаные и являющихся местным водоупором.

Плоские понижения в центральной и северной части обследуемой территории, обычно при доминировании сфагнома в напочвенном покрове, занимают глееземы торфянистые. Эти почвы состоят из маломощного (12-17 см), слабо разложившегося торфянистого горизонта T, подстилаемого глеевым горизонтом G, песчаным, белесым. Вода устанавливается на глубине 10-15 см от поверхности почвы.

Широкое распространение в пределах участка имеет комплекс, сформированный подзолами перегнойно-торфянистыми иллювиально-железистыми глеевыми, глееземами перегнойно-торфянистыми и глееземами торфянистыми. Подзолы являются доминирующим членом комплекса, при ухудшении дренажа (в микропонижениях) подзолы сменяются глееземами. Глееземы перегнойно-торфянистые занимают в рельефе промежуточное положение между подзолами и торфянистыми глееземами. В профиле этих почв на поверхности залегает горизонт Th, с прослойкой перегнойного материала в нижней части, а под ним — глеевый горизонт, верхняя часть которого супесчаная, окисленная, а нижняя часть, залегающая на глубине 45-50 см, представлена сизым суглинком. Появление перегнойно-торфяных подтипов связано с эффектом осушительной мелиорации, когда улучшение водно-воздушного режима вызывает усиленную минерализацию органического вещества поверхностных горизонтов.

Вдоль русла ручья в центральной части участка обширным вытянутым контуром залегают перегнойно-глеевые почвы. Мощность перегнойного горизонта H варьирует от 15 до 40 см, под ним залегает суглинистый глеевый горизонт G.

На участке, наряду с естественными, встречаются также техногенно-трансформированные почвы (турбированные и стратифицированные), приуроченные к повышению вблизи северной границы участка и бортам мелиоративных канав. В техногенно-трансформированных почвах наблюдается заметное варьирование морфологических признаков профиля, как по глубине, так и по горизонтали.

В целом можно заключить, что ввиду выровненного характера рельефа и невысокого разнообразия почвообразующих пород почвенный покров участка отличается малой контрастностью и сложностью.

Для альфегумусовых почв, которые преобладают на участке изысканий, характерны выраженная в морфологии профиля и химических показателях иллювиальная аккумуляция алюмо-железо-гумусовых соединений, в результате которой формируется горизонт BHF. В изучаемых подзолах этот иллювиальный горизонт имеет светло-кофейную окраску и отличается невысоким содержанием гумуса (0,9-1,0%), что позволяет отнести почвы к иллювиально-железистому подтипу. Перегнойно-торфянистые подзолы глеевые, распространенные на участке, характеризуются очень сильноокислой реакцией (pH солевой ниже 4,0) верхних горизонтов профиля и сильноокислой реакцией остальных. Потеря при прокаливании, характеризующая содержание органического вещества в органогенных горизонтах, колеблется от 92-95% в подстилках до 47-50% в перегнойно-торфянистом горизонте Th. По емкости катионного обмена органогенные и минеральные горизонты профиля торфянистых подзолов глеевых резко различаются. Емкость органогенных горизонтов и содержание в них обменных катионов, в том числе — обменных оснований (кальция и магния), гораздо выше, чем у минеральных горизонтов, и составляет около 50-75 ммоль (+)/100 г, при этом преобладают катионы водорода, и насыщенность основаниями низкая — 5-25%, редко выше. С увеличением степени разложения органического вещества в органогенном горизонте гидролитическая кислотность растет, а степень насыщенности основаниями снижается. Очень низкой емкостью обмена катионов и ненасыщенностью основаниями (4-5%) отличаются подзолистые горизонты. Торфянистые подзолы глеевые имеют низкую обеспеченность подвижным фосфором и очень низкую — калием.

Торфяно-глееземы характеризуются очень сильноокислой реакцией по всему профилю (pH солевой 3,4-3,7, pH водный 4,4-4,7), торфянистый горизонт, состоящий в основном из остатков сфагнома, имеет низкую зольность и, соответственно, высокую потерю при прокаливании (93-95%). Содержание элементов минерального питания растений — очень низкое.

Перегнойно-глеевые почвы имеют в перегнойном горизонте довольно высокую потерю при прокаливании, составляющую 75-80%. Реакция перегнойного горизонта среднекислая (рН солевой 4,9, рН водный – 5,7). Для перегнойного горизонта характерна значительная мощность (35-37 см) и повышенное содержание обменных оснований (35-38 ммоль(+)/100 г), при степени насыщенности ими около 45%. Содержание фосфора и калия в этих почвах также низкое.

Техногенно-трансформированные почвы по своим физико-химическим характеристикам и показателям плодородия мало отличаются от исходных подзолов: они имеют очень сильноокислую реакцию, значительную ненасыщенность обменными основаниями (степень насыщенности 35-40%), низкое содержание подвижных фосфора и калия. Пространственная структура почвенного покрова участка изысканий представлена на рисунке 1.

Рис. 1. Почвенный покров участка изысканий

Вследствие преобладания легкого гранулометрического состава верхних минеральных горизонтов и очень сильноокислой и сильноокислой реакции среды почвы участка неустойчивы к загрязнению тяжелыми металлами (ТМ), т.к. в кислой среде наиболее распространенные ТМ обладают высокой миграционной способностью. Недопустимо складирование в таких почвах отходов, содержащих тяжелые металлы (детали машин и агрегатов, отработанные батареи и т.д.), поскольку геохимическая обстановка способствует быстрой мобилизации соединений ТМ и возможной миграции в геохимически-подчиненные ландшафты и, как следствие, загрязнению прилегающих территорий. Миграционным каналом, по которому может осуществляться вынос загрязняющих веществ в случае возникновения на участке очага загрязнения почв и грунтов, является протекающий по территории ручей.

Широко распространенные на участке торфянистые и перегнойные горизонты почв могут выполнять функции геохимического барьера, иммобилизирующего загрязнители. По М.А. Глазовской [1988], торфа представляют собой комплексные барьеры: механические (удержание взвесей, приносимых поверхностными водами), биогеохимические, сорбционные, кислые. В какой-то мере концентрировать загрязняющие вещества может и толща суглинков, залегающая в профиле почв участка на глубине 60-80 см и выходящая на поверхность вдоль русла ручья [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

Строение почвенно-грунтовой толщи, способствующее образованию верховодки, требует постоянного контроля за уровнем вод на участке и качеством работы дренажной системы.

При проведении геохимических исследований особое внимание было уделено общему (валовому) содержанию микроэлементов, состав и накопление которых складывается под воздействием ряда факторов. В условиях городской среды преобладает техногенное загрязнение почво-грунтов.

Химическое загрязнение почв и грунтов оценивалось по коэффициентам концентрации отдельных компонентов загрязнения (K_c) и суммарному показателю химического загрязнения (Z_c).

Суммарный показатель химического загрязнения (Z_c) характеризует степень химического загрязнения почвы вредными веществами различных классов опасности и определялся как сумма коэффициентов концентраций отдельных компонентов загрязнения по формуле:

$$Z_c = K_{c1} + \dots + K_{ci} + \dots + K_{cn} - (n-1),$$

где n — число определяемых компонентов,

K_{ci} — коэффициент концентрации i -го загрязняющего компонента, равный кратности превышения содержания данного компонента в почве над фоновым значением.

Критериями оценки загрязнения почв послужили предельно допустимые концентрации (ПДК) и фоновые параметры

Геохимическое опробование почво-грунтов в десяти точках исследуемой территории и анализ почвенных проб дали основания предполагать наличие загрязнения на участке изысканий.

«Предположительно» загрязненный участок приурочен к северо-восточной части территории исследований рисунок 2. Необходимо отметить, что техногенное загрязнение не всегда сочетается с морфологической трансформацией почвенного профиля, поэтому отсутствует прямая корреляция между ареалами техногенно-трансформированных почв (рис.1) и пространственной локализацией геохимической аномалии (рис.2).

Рис. 2. Химическое загрязнение почво-грунтов в слое 0.0-0,2м в точках отбора проб

Анализ результатов опробования (табл. 1 рис. 3) почво-грунтов в наиболее загрязненной точке (точка №9) показал что на этом участке отмечается превышение как фоновых величин ($K_c > 1$), так и ПДК по никелю, меди, свинцу и цинку. Значения K_c свидетельствуют, что наибольшие превышения фона ($K_c > 80$) в точке опробования характерны для свинца в слое 0-0,2м. Минимальные концентрации определяемых веществ зафиксированы для 3,4-бензпирена и нефтепродуктов. Их содержание не превышает средних фоновых значений ($K_c < 1$) и ПДК. Содержание ртути, мышьяка и кадмия хотя и превышает фоновые величины, но остается ниже ПДК. Загрязнение прослеживается по всей толще опробования - от поверхности до 2-х метров. С глубиной характер загрязнения не меняется. Так же как и в поверхностном слое в ниже лежащих слоях основной вклад в превышение фоновых значений вносят свинец, медь и ртуть.

Таблица 1. Статистические параметры распределения валового содержания (мг/кг) химических элементов в почво-грунтах точки №9

Определяемая характеристика	Содержание в слое			Параметр				ПДК (ОДК)	ФОН
	0,0-0,2м	0,2-1,0м	1,0-2,0м	среднее	ст.откл	мин.	макс		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
рН	4,6	4,9	4,9	4,80	0,17	4,60	4,90		
3,4-бензпирен	0,007	0,005	0,005	0,006	0,001	0,005	0,007	0,02	
Ртуть	0,310	0,190	0,053	0,184	0,129	0,053	0,310	2,1	0,03
Мышьяк	4,20	2,59	1,31	2,70	1,45	1,31	4,20	5,00	2,62
Никель	67,00	34,20	17,00	39,40	25,40	17,00	67,00	40,00	15,30
Кадмий	0,25	0,17	0,09	0,17	0,08	0,09	0,25	1,00	0,17
Медь	789,00	371,00	192,00	450,67	306,37	192,00	789,00	66,00	18,00
Свинец	1550,00	723,00	172,50	815,17	693,36	172,50	1550,00	65,00	19,10
Цинк	21,00	13,60	9,40	14,67	5,87	9,40	21,00	110,00	43,10
Нефтепродукты	48,00	32,00	14,90	31,63	16,55	14,90	48,00		180,00

Комплексная оценка химического загрязнения почво-грунтов на основе анализа суммарного показателя химического загрязнения (Z_c) выявила, что опасная степень загрязнения характерна для слоя 0,2-1,0м, ниже которого в слое от 1,0 до 2,0м расположены умеренно-загрязненные грунты с величиной $Z_c=17,8$. Поверхностный слой грунтов до 0,2м с химической точки зрения является в данной точке наиболее опасным. Суммарный показатель загрязнения в этом слое превышает значение 137, что в соответствии с оценочной шкалой¹ относит данный горизонт почво-грунтов к чрезвычайно опасным.

Для более полного представления масштаба и степени загрязнения и его геохимического картирования на участке геохимической аномалии было проведено дополнительное опробование почво-грунтов.

К западу от наиболее загрязненной точки №9 в пределах небольшого повышения с абсолютными отметками поверхности земли 27,6 – 27,8м расположена первая точка дополнительного опробования (135и-1). Опробование проводилось до глубины 5 метров послойно на горизонтах - 0,0-0,2м; 0,2-1,0м; 1,0-2,0м; 2,0-3,0м; 3,0-4,0м; 4,0-5,0м. Анализ результатов опробования почвенного покрова (рис. 2), показал что на территории приуроченной к точке 135и-1 отмечаются относительно низкие концентрации загрязнителей, близкие к фоновым или не превышающие 1-2 фоновых значений. Наибольшее превышение до 1,8-1,9 фоновых значений характерно для меди и кадмия. Превышение ПДК по всем характеристикам в районе точки 135и-1 не фиксируется. Суммарный показатель загрязнения почв на всех горизонтах не превышает 1. В целом на момент исследования категория загрязнения грунтов во всей толще в данной точке согласно требованиям СанПиН 2.1.7.1287-03 характеризуются как «чистая».

К югу от наиболее загрязненной точки №9 в пределах небольшого повышения с абсолютными отметками поверхности земли 27,6 – 27,7м. расположена вторая точка опробования (135и-2). Опробование проводилось до глубины 5 метров послойно на горизонтах - 0,0-0,2м; 0,2-1,0м; 1,0-2,0м; 2,0-3,0м; 3,0-4,0м; 4,0-5,0м. Анализ результатов опробования почвенного покрова (рис. 3), показал что на территории приуроченной к точке 135и-2 отмечаются относительно более высокие по сравнению с точкой 135и-1 концентрации загрязнителей, превышающие фоновые значения в 2 и более раз. Наибольшее превышение характерно для ртути ($K_c=7$) и свинца ($K_c=7,9$). Высокие концентрации проявляется главным образом в слое от 0,0 до 1,0м., где также фиксируется превышение ПДК по свинцу в 2,3 раза. Превышение ПДК по другим токсикантам на данной точке не отмечено. В нижележащих слоях фиксируются более низкие значения концентраций. Комплексная оценка химического загрязнения почво-грунтов на основе анализа суммарного показателя химического загрязнения (Z_c) не выявила опасной степени загрязнения грунтов. Максимальная величина показателя в наиболее загрязненном слое не превышает 16, что характеризует степень загрязнения в слое от 0,0 до 0,2м как «допустимую». В более глубоких слоях загрязнение не отмечается.

Третья точка опробования (135и-3), самая дальняя от наиболее загрязненной точки №9 расположена к югу от точки 135и-2. Опробование проводилось до глубины 2 метров послойно на горизонтах - 0,0-0,2м; 0,2-1,0м; 1,0-2,0м. Анализ результатов опробования почвенного покрова (рис. 3), показал что на территории приуроченной к точке 135и-3 отмечаются относительно более низкие по сравнению с точкой 135и-2 концентрации загрязнителей. В тоже время также как и на предыдущей точке здесь отмечаются повышенные концентрации кадмия, свинца и ртути в слое 0,0 – 0,2м. Концентрация первого достигает 3,7 фона, а второго – 4,0., а третьего – 2,3. Концентрация других загрязняющих веществ не превышает 2-х фоновых значений, что указывает на допустимый

уровень загрязнения. По суммарному показателю Zc уровень загрязнения характеризуется как допустимый. Он не превышает в точке опробования значения 8.

Рис. 3. Содержание загрязняющих веществ в почво-грунтах на участке аномального загрязнения

Следует отметить тенденцию увеличения концентраций загрязняющих веществ от точки 3 к точке 2 по направлению к наиболее загрязненной точке №9, что обусловлено влиянием по всей видимости последней.

Для выявления пространственной изменчивости загрязнения средствами ГИС-технологии было проведено послойное компьютерное картографирование суммарного показателя химического загрязнения грунтов. Картографическое моделирование позволило выявить на исследуемом участке в верхних горизонтах почво-грунтов комплексную полиэлементную геохимическую аномалию (рис.4) и уточнить ее размеры.

Для нее характерно наличие единого центра, связанного с наиболее загрязненной точкой №9 и высоким уровнем суммарного показателя химического загрязнения ($Z_c > 128$), что говорит о чрезвычайно высокой степени загрязнения верхнего слоя почво-грунтов (0,0-0,2м) (рис. 4а). Локальный (точечный) характер загрязнения почвенного покрова является показательным для населенных пунктов, где преобладает антропогенный фактор [Макаров, Новаковский и др., 2002]. Площадь контура ареала загрязнения – 0,0174га, что составляет менее 0,2% территории исследования.

Как показано на рисунке 3, распределение исследуемых элементов в контуре аномалии крайне неравномерное. Ряд элементов, таких как свинец и медь, характеризуются в верхнем горизонте почво-грунтов (0,0-0,2м) концентрациями превышающими фоновые значения в десятки раз. Важной особенностью геохимической аномалии является ее приуроченность к относительному понижению в рельефе участка с абсолютной отметкой 27,46м. (рис. 1).

С глубиной отмечается понижение значений суммарного показателя загрязнения. В слое 0,2 – 1,0м до 32-128, что свидетельствует об «опасной» степени загрязнения. Для аномалии в этом слое характерно увеличение ареала загрязнения (рис. 4б).

В ниже лежащем слое (1,0-2,0м) отмечается аномалия средней интенсивности с величинами суммарного показателя 16-32, что характеризует степень загрязнения грунтов как «умеренно-опасную» (рис. 4в).

В таблице 2 приведены послойные данные по площадям загрязнения аномальной зоны

Таблица 2. Послойная оценка площадей химического загрязнения различной интенсивности

Категории загрязнения	Площадь загрязнения (м ²) в слое		
	0,0 -0,2	0,2 – 1,0	1,0 -2,0
Допустимая	8863.67	12832.91	18741.56
Умеренно опасная	3696.38	2834.69	641.803
Опасная	6644.42	3711.2	-
Чрезвычайно опасная	174.068	-	-

Полученные результаты геохимических исследований загрязненной области позволяют сделать следующие выводы:

- подтверждено наличие и уточнены границы комплексной полиэлементной геохимической аномалии, которая расположена в северо-восточной части территории исследования;
- распределение исследуемых элементов в контуре аномалии крайне неравномерное. Ряд элементов, таких как свинец и медь, характеризуются в верхнем горизонте почво-грунтов (0,0-0,2м) концентрациями превышающими фоновые значения в десятки раз;
- зона с очень высоким уровнем суммарного показателя загрязнения ($Z_c > 128$) расположена в слое 0,0 – 0,2 м и составляет менее 0,2% площади территории исследования;
- с глубиной в аномальной зоне отмечается спад величин суммарного показателя до опасных значений ($Z_c = 32-128$) на отметке 0,2-1.0м. с одновременным увеличением площади распространения аномального загрязнения до 0,37 га;
- на глубине более 1,0м опасное и чрезвычайно опасное загрязнение практически отсутствует;
- на большей части исследуемой территории отмечается допустимый уровень загрязнения почво-грунтов.

а

б

в

Рис. 4. Оценка химического загрязнения почво-грунтов **а** - в слое 0,0 – 0,2 м.; **б**- в слое 0,2 -1,0м; **в**- в слое 1,0 -2,0м

Библиографический список

1. Гагарина Э.И., Матинян Н.Н., Счастливая Л.С., Касаткина Г.А. Почвы и почвенный покров Северо-Запада России. СПб., изд. СПбГУ, 1995. 236 с.
2. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М., «Высшая школа», 1988. 328 с.
3. Добровольский Г.В., Смагин А.В., Владыченский А.С. Кириченко А.В., Садовникова Н.Б., Степанов А.Л., Трофимов С.Я., Яковлев А.С. Информационно-аналитическая система инвентаризации и менеджмента городских почвенных ресурсов М., МГУ, 2011. 122 с.
4. Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. 3-е изд. М., изд. МГУ, «Наука», 2006. 460 с.
5. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М., «Мир», 1989. 439 с.
6. Курбатова А.С., Герасимова С.А., Решетина Т.В., Федоров И.Д., Башкин В.Н., Щербаков А.Б. Оценка состояния почв и грунтов при проведении инженерно-экологических изысканий. Серия: Экологическое сопровождение градостроительной деятельности. М. Научный мир, 2005. 180 с.
7. Макаров В.З., Новаковский Б.А., Чумаченко А.Н. Эколого-географическое картографирование городов. М.: Научный мир, 2002, 176 с.
8. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск, «Ойкумена», 2004. 342 с.