

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ О СОДЕРЖАНИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ БРЕСТСКОГО РАЙОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Г. В. ТОЛКАЧ, С. М. ТОКАРЧУК

УО «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина»
г. Брест, Беларусь, 224016

С. С. ПОЗНЯК

Белорусский государственный университет, МГЭИ имени А.Д. Сахарова
г. Минск, Беларусь. 220070

(Поступила в редакцию 16.10.2017)

Технология ГИС объединяет традиционные операции при работе с базами данных такими, как запрос и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа, которые предоставляет карта. Одна из основных функций ГИС – создание и использование компьютерных (электронных) карт, атласов и других картографических произведений, которые позволяют визуально отобразить содержание тяжелых металлов в почвах Брестского района различной формы собственности, что позволило сделать выводы о степени антропогенного влияния на накопление загрязнителей в почве. Современные ГИС-технологии применяются в самых разнообразных областях деятельности, а также отраслях наук. Анализ существующих в научной литературе данных о современном состоянии почвенного покрова разных территорий показывает, что, несмотря на наличие значительного количества статистических и полевых данных, опубликованных в табличном либо текстовом виде, в сельскохозяйственных работах намного реже встречается картографический материал. В то же время, следует отметить, что именно наличие картографического материала способствует не только визуализации полученных данных, но и позволяет сделать исследование более полноценным. Таким образом, применение современных геоинформационных технологий для создания почвенных карт и картосхем (в частности отображающих содержание тяжелых металлов в почвах), обеспечит не только автоматизацию сбора и обработки информации, но и качественно новый вариант ее предоставления. В настоящем исследовании приводится пример применения ГИС-технологий для визуализации данных о содержании тяжелых металлов в почвах Брестского района.

Ключевые слова: географические информационные системы, визуализация, загрязнение, тяжелые металлы в почвах.

GIS technology combines traditional operations for working with databases, such as query and statistical analysis, with the benefits of full visualization and geographic (spatial) analysis that the map provides. One of the main functions of GIS is the creation and use of computer (electronic) maps, atlases and other cartographic works that allow us to display visually the heavy metal content in the soils of Brest region of various forms of ownership, which helped to draw conclusions about the degree of anthropogenic influence on the accumulation of pollutants in the soil. Modern GIS-technologies are used in a wide variety of fields of activity, as well as branches of science. Analysis of existing data in the scientific literature on the current state of the soil cover of different territories shows that, despite the presence of a significant amount of statistical and field data published in tabular or text form, cartographic material is much less common in agricultural work. At the same time, it should be noted that it is the availability of cartographic material that not only facilitates visualization of the obtained data, but also allows us to make the study more complete. Thus, the use of modern geo-information technologies for the creation of soil maps and schematic maps (in particular, displaying the content of heavy metals in soils) will ensure not only the automation of data collection and processing, but also a qualitatively new version of its presentation. The present study provides an example of the application of GIS-technologies for visualization of data on the content of heavy metals in the soils of Brest region.

Key words: geographical information systems, visualization, pollution, heavy metals in soils.

Введение

Большинство исследований отечественных и зарубежных авторов посвящено изучению вопросов оценки влияния загрязнителей на различные компоненты экосистем, в то же время недостаточно изучены являются особенности загрязнения и перераспределения тяжелых металлов в почвах с различной степенью интенсификации. В последние десятилетия накопление тяжелых металлов в окружающей среде и почве идет быстрыми темпами [2, 5]. Тяжелые металлы опасны тем, что они обладают способностью накапливаться в живых организмах, образовывать высокотоксичные металлоорганические соединения, изменять формы нахождения при переходе из одной природной среды в другую, не подвергаясь биологическому разложению [6, 7]. Тяжелые металлы вызывают у человека серьезные физиологические нарушения, токсикоз, аллергию, онкологические заболевания, отрицательно влияют на зародыш и генетическую наследственность. Актуальность проблемы воздействия тяжелых металлов на почву определяется тем, что именно в ней сосредоточена почвенная Protozoa, способствующая минерализации органических остатков. Почва является экологическим узлом связей биосферы, в котором наиболее интенсивно протекает взаимодействие живой и неживой материи. На почве замыкаются процессы обмена веществ между земной корой, гидросферой, атмосферой и обитающими на суше организмами [15].

Географические информационные системы (ГИС) – это особые аппаратно-программные комплексы, обеспечивающие сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координированных данных [1]. Для многих типов пространственных операций визуализация является конечным результатом

представления данных в виде карты или графики. Карта – это один из самых эффективных и информативных способов хранения, представления и передачи географической (имеющей пространственную привязку) информации. Современные программные средства ГИС предоставляют новые инструменты, которые расширяют и развивают научные основы картографии. С их помощью визуализация самих карт может быть легко дополнена отчетными документами, трехмерными изображениями, графиками, таблицами, диаграммами, фотографиями и другими средствами [8].

Основная часть

Объект исследования. Брестский район расположен на юго-западе Брестской области и граничит с восточной и северной стороны с Каменецким, Жабинковским и Малоритским районами Брестской области, на западе по реке Западный Буг проходит государственная граница Республики Беларусь с Республикой Польшей, на юге – с Украиной [11]. Общая площадь района – 1,54 тыс. км² [3, 11], что характеризует его как средний по площади в пределах Республики Беларусь. Район имеет большую протяженность с севера на юг (около 100 км), что оказало существенное влияние как на природные особенности, так и на специфику хозяйственной деятельности, в первую очередь существенное разнообразие форм хозяйственной освоенности территории. Центром района является город Брест (численность населения 343 985 чел.), в составе района выделяется также городской поселок Домачево и 142 сельских населенных пункта. Общая численность населения района 40 418 человек (без учета г. Бреста), из них 1 218 человек составляет городское население, 39 200 – сельское. Средняя плотность населения 22,6 человек на 1 км². Через территорию района проходят международные железнодорожные магистрали «Москва – Минск – Брест – Варшава (Польша)», «Брест – Ковель (Украина)», «Брест – Высоко-Литовск – Белосток (Польша)», а также железная дорога «Брест – Влодава». Общая протяженность железных дорог составляет 145 километров. По территории района также проходит автомагистраль М1 «Брест (Козловичи) – Минск – граница Российской Федерации», которая является частью европейского маршрута Е30 и панъевропейского транспортного коридора II «Берлин – Нижний Новгород» и автомобильные дороги «Брест – Высокое» (Р16), «Брест – Ковель» (Р17), «Брест – Каменец» (Р83), «Брест – Томашовка» (Р94). Общая протяженность республиканских автомобильных дорог 175,1 км, местных – 481 км.

Общая площадь земель сельскохозяйственных организаций Брестского района составляет 57110 га, крестьянских хозяйств – 943, садовых товариществ – 1710 и личных подсобных хозяйств граждан – 19382 га. Основными типами почв сельскохозяйственных угодий являются: дерново-подзолистые – 31,8 %, дерново-подзолистые заболоченные – 23,2 %, дерновые и дерново-карбонатные заболоченные – 15,6 %, пойменные (аллювиальные) – 15,7 %, торфяно-болотные – 13,7 %. По механическому составу преобладают супесчаные почвы (57,6 %), отмечаются также суглинистые – 7,5 %, песчаные – 21,2 % и торфяные – 13,7 % [14]. Величина рН колеблется в диапазоне 5,1–5,8, содержание гумуса 1,5–2,52 % .

Исследование проводилось на нескольких территориальных уровнях: крупные сельскохозяйственные предприятия и открытые акционерные общества; крестьянские (фермерские) хозяйства; садовые товарищества. В агропромышленный комплекс района входят 6 открытых акционерных обществ: «Комаровка», птицефабрика «Медновская», «За мир», «Агро-сад Рассвет», «ТК «Берестье», селекционно-гибридный центр «Западный», два производственных кооператива: «Остромечево», «Чернавчицы», два коммунальных унитарных предприятия: «Молодая гвардия», «Совхоз Брестский», государственное унитарное сельскохозяйственное предприятие «Племзавод Мухавец» (рис. 1). Агротехническое обслуживание сельскохозяйственных организаций производит ОАО «Брестский райагросервис». Крупные сельскохозяйственные предприятия района специализируются на производстве зерна, сахарной свеклы, овощей, молока и мяса. Действует крупный специализированный свиноводческий комплекс ОАО «СГЦ «Западный»», комплекс по откорму крупного рогатого скота в СПК «Остромечево», птицеводческий комплекс в ОАО «Комаровка». Из функционирующих на территории Брестского района 12-ти крупных сельскохозяйственных организаций образцы почв отобраны в 10-ти, кроме ОАО «Тепличный комбинат «Берестье», который выращивает продукцию гидропонным способом, а также КСУП «Брестский пчелопитомник», специализирующийся на производстве продуктов пчеловодства. Следует отметить, что в крупных сельскохозяйственных предприятиях внедрены рекомендованные техническими регламентами интенсивные технологии выращивания сельскохозяйственных культур, на данных территориях осуществляется периодический контроль качества продукции и обследуется состояние земельных угодий в рамках туров агрохимических исследований.



1 – Чернавчицы (пלאкор), 2 – Чернавчицы, 3 – птшцефабрыка «Медновская» (пלאкор), 4 – птшцефабрыка «Медновская», 5 – СГЦ «Западный» (пלאкор), 6 – СГЦ «Западный», 7 – Агро-сад «Рассвет», 8 – Агро-сад «Рассвет», 9 – Племзавод «Мухавец» (пלאкор), 10 – Племзавод «Мухавец», 11 – Остромечево (пלאкор), 12 – Остромечево, 13 – За мир (пלאкор), 14 – За мир, 15 – Молодая гвардия (пלאкор), 16 – Молодая гвардия, 17 – Комаровка (пלאкор), 18 – Комаровка, 19 – Совхоз «Брестский» (пלאкор), 20 – Совхоз «Брестский»



1 – Мицкевича, 2 – Тонус, 3 – Клопота, 4 – Кривоносова, 5 – Подлесье-Радваничское, 6 – Лешкевича, 7 – Бобко, 8 – Кузьмина, 9 – Черемушка, 10 – Давидюка, 11 – Шуляка, 12 – Люкевич, 13 – Ятчука, 14 – Цибукова, 15 – Берестейское, 16 – Медовая поляна, 17 – Онискевич, 18 – Белазаровича, 19 – Беркли, 20 – Макаревича, 21 – Корсаково, 22 – Богомолова, 23 – Веравита, 24 – Кобяк, 25 – Юрловское, 26 – Метеор-агро, 27 – Юценко, 28 – Виктория, 29 – Шалкевича, 30 – Зеленый луг, 31 – Поддубное, 32 – Прибужская нива, 33 – Панский луг, 34 – Искупление, 35 – Слав-фиш, 36 – Багаты падворац, 37 – Васильева, 38 – КапСан, 39 – Агробуг Плюс, 40 – Степанюка, 41 – Янтарь плюс, 42 – Утренняя роса, 43 – Пархоменко, 44 – Ведмедици, 45 – Шпендика, 46 – Катин луг, 47 – Рыбацкий хутор, 48 – Артемида Плюс, 49 – БелАгроГ-риб, 50 – Форестберри, 51 – Прохоровское, 52 – Агробуг, 53 – Ягодная усадьба

Рис. 1. Постоянные пробные площадки на территории крупных сельскохозяйственных производителей

Рис. 2. Постоянные пробные площадки на территории крестьянских (фермерских) хозяйств

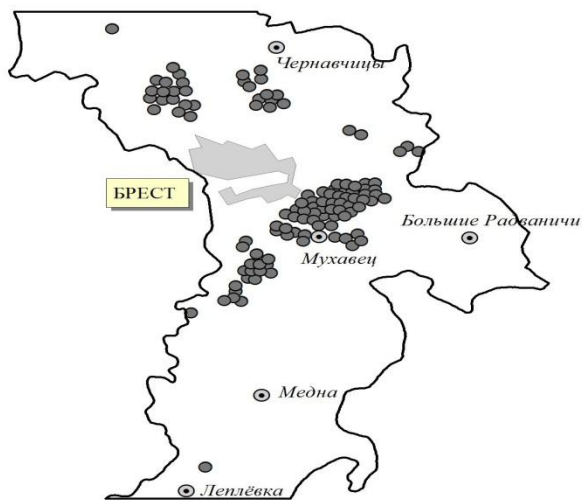
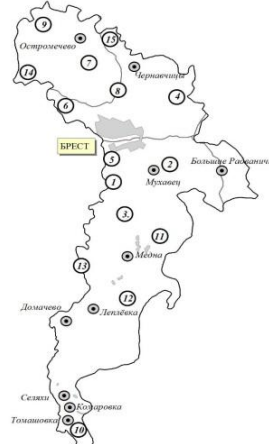


Рис. 3. Постоянные пробные площадки на территории садовых товариществ



1 – Заказанка, 2 – Южное-1, 3 – Страдичи, 4 – Тельмы, 5 – Бернады, 6 – Непли, 7 – Б. Мотыкалы, 8 – Дружба, 9 – Люта, 10 – Томашовка, 11 – Медно, 12 – Леплевка, 13 – Дубица, 14 – Чижевичи, 15 – Остромечево

Из функционирующих 52-х крестьянских (фермерских) хозяйств были обследованы 30 хозяйств. Почвенные пробы не отбирались на территориях хозяйств, специализирующихся на агротуризме, пчеловодстве, рыбоводстве, а также в хозяйствах, получающих продукцию гидропонным способом и в хозяйствах площадью менее 3 га. Следует отметить, что на территории фермерских (крестьянских) хозяйств ведется, как правило, экстенсивное или органическое производство продукции (рис. 2). Исследование проводилось также в пределах садовых товариществ района (рис. 3). Из 248 садовых товариществ Брестского района образцы почв отобраны в 112 садовых товариществах. Кроме данных землепользователей, отбор проб и анализ содержания тяжелых металлов проводился на 15 пробных площадках, заложенных в пределах условно чистых территорий, представленных естественными экосистемами в лесных массивах (рис. 4).

Таким образом, на территории района было заложено 319 постоянных пробных площадок, из которых 15 – на условно чистой территории, 20 – на территории крупных сельскохозяйственных предприятий, 60 – на территории фермерских (крестьянских) хозяйств, 224 – на территории садовых товариществ и дачных кооперативов. Нормативной базой для оценки состояния загрязнения почв по содержанию тяжелых металлов в почве служили нормативы региональных фонов, кларки, ПДК (ОДК), перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Беларусь. Для решения задач использовались физико-химические методы анализа, IT - пакет программ статистики в EXCEL, SURFER 8, ArcGIS.

Отбор образцов почв и растений осуществляли в летние месяцы в 2012–2015 гг. общепринятыми в биогеохимии и почвоведении методами. На территории каждого исследуемого массива территории выбирались наиболее высокая точка, расположенная на окраине плакора и наиболее низкая точка, расположенная у подножия склона, на которых отбирались образцы почвы. Размер пробной площадки составлял 100 м². На каждой пробной площадке отбиралась одна объединенная проба почвы, которая формировалась путем смешивания равных частей не менее 10 точечных проб. Отбор точечных проб производился пробоотборником из 3 слоев: верхнего 0–20 см, среднего – 20–35 и нижнего слоя 50 см. Верхний слой на окраине плакора на диаграммах обозначен В–1, слой 35 см – В–2 соответственно слой с глубины 50 см – В–3. Для формирования объединенной пробы отобранные точечные образцы смешивались на полиэтиленовой пленке до гомогенного состояния. Для транспортировки и хранения почвенных проб использовалась стеклянная посуда. Подготовку почвенных образцов к лабораторным исследованиям проводили по общепринятым методикам [3, 4, 10, 11].

Отобранные почвенные образцы высушивались до воздушно-сухого состояния, растирались в агатовой ступке и просеивались через сито 0,5 мм. Подготовленные пробы исследовались на базе аккредитованной центральной лаборатории РУП «Белгеология» г. Минска полуколичественным эмиссионным спектральным анализом на приборе ЛАС-8-2. Всего исследовано 957 образцов почв, получено 30 624 данных.

Разработка и создание ГИС.

Для визуализации полученных результатов был разработан ГИС-проект, с помощью которого построены карты и картосхемы, наглядно иллюстрирующие содержание валовых форм соединений химических элементов в почвах. Основной целью создания ГИС является сбор, обработка, систематизация, хранение и оценка пространственных данных, характеризующих различные аспекты природной и экологической сред Брестского района для получения обобщенной координатно-привязанной информации на локальном уровне. Основными задачами создания ГИС Брестского района являлись: (1) сбор и обработка растрового картографического материала; (2) перевод в цифровую форму необходимых картографических изображений; (3) организация технологии сбора исходной базовой информации о состоянии Брестского района; (4) формирование статистических баз данных, характеризующих состояние почвенного покрова административного района; (5) создание на основе оцифрованных изображений новых карт (оценочных и синтетических). Основными принципами разработки ГИС Брестского района выступают наглядность представления информации, территориальная целостность, комплексность, динамичность, актуальность, практическая значимость. К основным функциям ГИС относятся: (1) информационно-справочные; (2) пространственного анализа; (3) прогнозирования; (4) оптимизации. Основой для создания ГИС явились картографические материалы (топографические карты районов, карта сельскохозяйственных предприятий районов); Интернет-ресурсы; информация, полученная в районных исполнительных комитетах и других организациях, результаты собственных полевых исследований. Созданная ГИС Брестского района содержит три структурных проекта: (1) топографическая основа, (2) физико-

географическая основа, (3) экологическая основа. Топографическая основа создавалась как базовая ГИС района, элементы которой используются как шаблоны при создании тематических карт. Данный проект состоит из стандартных слоев (населенные пункты, реки, озера, дороги и др.), к каждому из которых привязана база данных атрибутивной информации (например, название, тип объекта и др.).

Физико-географическая основа ГИС включает такие виды, как четвертичные отложения, почвообразующие породы, рельеф, почвы, растительность, ландшафты. Каждый из данных видов состоит из нескольких слоев. Наибольшее значение при реализации данных проектов имела разработка и создание экологической основы ГИС-проекта. Разработанные экологическая основа использовалась для создания оценочных и синтетических карт, отображающих особенности содержания тяжелых металлов в почвах района. В частности, для каждого из территориальных уровней были построены ГИС-карты, на которых зеленым цветом обозначены содержания до фонового значения, желтым цветом – от фонового до ПДК/ОДК, а красным цветом – выше ПДК/ОДК. В дальнейшем, на основании данных карт составлялись картосхемы локализации загрязнения почв Брестского района тяжелыми металлами. Установлено, что в условиях бесконтрольного применения средств химизации при выращивании сельскохозяйственных растений в почвах личных подсобных хозяйств и садовых товариществ наблюдается превышение значений ПДК/ОДК тяжелых металлов Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb и Zn в 1,3–4 раза; величин региональных кларков Nb, Sn, Yb и Zr – более чем в 1,5 раза, что свидетельствует о необходимости систематического контроля за применением средств химизации и качеством выращиваемой продукции (таблица).

Валовое содержание элементов на территории садовых товариществ, расположенных на аллювиальных дерново-глебоватых и глеевых почвах на речном аллювии, мг/кг

Элементы	Min	Max	\bar{x}	σ	m	U%	T	Кларк*	ПДК (ОДК)**
Mn	200	2783	774,4	593,6	59,7	76,6	13,0	247	1500
Zr	50	3000	256,4	343,0	34,5	133,8	7,4	200	н/у
Cr	7	131	62,7	28,4	2,9	45,2	22,0	36	100
Zn	30	233	66,9	40,9	4,1	61,1	16,3	35	55
Y	10	350	34,8	47,2	4,7	135,5	7,3	23	н/у
Ni	3	34	15,9	5,4	0,5	34,0	29,2	20	20
Cu	3	100	32,1	27,1	2,7	84,3	11,8	13	33
Pb	10	60	26,9	12,4	1,3	46,1	21,6	12	32
Nb	3	36	9,5	5,5	0,6	57,7	17,3	12	н/у
Co	1	45	9,2	6,3	0,6	69,3	14,4	6	20
Yb	1	21	5,6	3,3	0,3	59,6	16,7	2	н/у
Sn	1	5	2,3	1,1	0,1	47,7	20,8	1	4,5

Содержание валовых соединений химических элементов Y и Ni в почвах садовых товариществ Брестского района близко к значениям региональных кларков, количество Nb превышало фоновые значения более, чем в два раза в почвах товариществ «Строитель-27», «Факел газоаппарата», «Старица пограничная», «Сосновое-2». Среднее содержание Yb в почвах существенно выше среднереспубликанских значений (в 2,8 раза), а товариществе «Строитель-27» – в 10,5 раз превышает региональный кларк.

Заключение

Возникшие в последнее время экологические проблемы ставят новые задачи перед картографией. Для их решения требуется современное геоинформационное обеспечение, позволяющее оперативно реагировать на любые изменения в окружающей среде. Несмотря на то, что первые карты, основанные на ГИС-технологиях, начали появляться только в 1990-х годах, уже через 20 лет была проведена значительная работа по преобразованию аналоговой информации общегеографических, топографических и тематических карт в цифровой вид. Параллельно разрабатываются и оригинальные компьютерные карты, которые являются сопровождением многих экологических исследований, программ и проектов, в большинстве своем имеющие практическую ориентацию, содержащие серии взаимосогласованных карт и многоплановые базы данных, которые позволяют в оперативном режиме проводить анализ экологической ситуации и способствуют принятию эффективных управленческих решений.

Созданные оценочные картосхемы обобщены в информационно-справочном издании «Атлас содержания тяжелых металлов в почвах Брестского района», которое позволяет оценить обеспеченность почв валовыми соединениями химических элементов для применения в практической земледелии с целью получения нормативно-чистой продукции растениеводства [14].

ЛИТЕРАТУРА

1. Берлянт, А. М. Картография / А. М. Берлянт. – М.: Аспект Пресс, 2001. – 336 с.
2. Виноградов, А. П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры / А. П. Виноградов // Геохимия. – 1962. – №7. – С. 555–571.
3. Геаграфія Брэсцкай вобласці: дапаможнік / С. В. Арцеменка [і інш.]; пад рэд. С. В. Арцеменка, А. У. Грыбко. – Мінск, 2002. – 388 с.
4. ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
5. Израэль, Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды и пути их решения / Ю. А. Израэль. – Л., 1984. – 560 с.
6. Ильин, В. Б. О нормировании тяжелых металлов в почве / В. Б. Ильин // Почвоведение. – 1986. – № 9. – С. 90–98.
7. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
8. Капустин В. Г. ГИС-технологии в географии и экологии: ArcView GIS в учебной и научной работе (практическое руководство) / В. Г. Капустин. – Екатеринбург, 2012. – 202 с.
9. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Б. А. Ревич, Ю. Е. Саэт, Р. С. Смирнова. – М.: ИМГРЭ, 1990. – 462 с.
10. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М., 1992. – 61 с.
11. Нацыянальны атлас Беларусі / М. У. Мясніковіч [і інш.]. – Мінск: Белкартаграфія, 2002. – 292 с.
12. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве: ГН 2.1.7.12-1-2004.– Введ. 25.02.2004. – Минск: постановление главного государственного санитарного врача Республики Беларусь, 2004. – 30 с.
13. Петухова, Н. Н. Кларкам микроэлементов в почвенном покрове Беларуси / Н. Н. Петухова, В. А. Кузнецов // Доклады АН Беларуси. – 1992 – Том 26. – № 5. – С. 461–465.
14. Позняк, С. С. Атлас содержания тяжелых металлов в почвах Брестского района / С. С. Позняк, Г. В. Толкач, С. М. Токарчук; под общ. ред. С. С. Позняка. – Минск: ИВЦ Минфина, 2016. – 72 с.
15. Тиво, П. Ф. Тяжелые металлы и экология: науч. издание / П. Ф. Тиво, И. Г. Быцко. – Мн.: Юнипол, 1996. – 192 с.