

На правах рукописи



Водолазко Александр Николаевич

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО  
НАЗНАЧЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И ЕГО УЧЕТ ПРИ  
БОНИТИРОВКЕ (НА ПРИМЕРЕ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ)**

03.02.08 – экология (биология)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Владимир - 2020

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Волгоградский государственный университет»

**Научный руководитель:** доктор сельскохозяйственных наук, доцент  
**Иванцова Елена Анатольевна**

**Официальные оппоненты:** **Касатиков Виктор Александрович**  
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,  
Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа – филиал  
Федерального государственного бюджетного  
научного учреждения «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр», ведущий научный  
сотрудник

**Писарева Аза Валерьевна**  
кандидат биологических наук, ФГБОУ ВО  
«Московский государственный технический  
университет имени Н.Э. Баумана (национальный  
исследовательский университет)», доцент кафедры  
медико-технического менеджмента

**Ведущая организация** Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Южный федеральный университет»

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г. в \_\_\_ часов на заседании  
диссертационного совета Д 212.025.07 при ФГБОУ ВО «Владимирский  
государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая  
Григорьевича Столетовых» по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ВлГУ,  
корп.1, ауд. 335.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ВлГУ и на сайте  
<http://diss.vlsu.ru/>

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, можно  
присылать по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ВлГУ, кафедра биологии  
и экологии.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат биологических наук



Кулагина Екатерина Юрьевна

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность исследований.** Одним из факторов ухудшения качественного состояния земельного фонда Волгоградской области является загрязнение земель [В.А. Темнышова, 2015]. Техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ), как известно, приводит к необратимым процессам химической деградации земель, оказывает негативное воздействие на качественные показатели сельскохозяйственной продукции и потенциально опасно для здоровья человека.

Для формирования экологически устойчивого сельскохозяйственного землепользования необходимо владеть объективной информацией об изменениях, происходящих в почвах в результате возрастающего антропогенного воздействия, в связи с чем вопросы разработки и внедрения новых методологических подходов к бонитировке почв с учетом их загрязненности тяжелыми металлами весьма своевременны и актуальны, а расчет кадастровой стоимости земель сельскохозяйственного назначения наиболее объективен.

**Цель и задачи исследований.** Цель исследования – определение содержания тяжелых металлов в почвах и бонитировочная оценка почв земель сельскохозяйственного назначения сухостепной зоны Волгоградской области с учетом выявленного загрязнения.

Для реализации цели были поставлены следующие задачи:

1. дать агрохимическую и эколого-токсикологическую оценку состояния почв земель сельскохозяйственного назначения;
2. выявить степень загрязнения почв земель сельскохозяйственного назначения тяжелыми металлами и определить динамику изменений концентрации тяжелых металлов в почвах за период 2000-2017 гг.;
3. провести бонитировочную оценку почв и выявить динамику изменения бонитета почв за период 2001-2017 гг.;
4. представить, обосновать и апробировать методический подход к бонитировочной оценке почв с учетом загрязнения тяжелыми металлами.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

- определен уровень загрязнения почв земель сельскохозяйственного назначения сухостепной зоны Волгоградской области тяжелыми металлами относительно ПДК и ОДК, выявлена динамика загрязнения за период 2000-2017 гг.;

- проведена бонитировочная оценка почв земель сельскохозяйственного назначения сухостепной зоны Волгоградской области и выявлена динамика изменения показателей бонитета почв за период 2001-2017 гг.;

- разработан и апробирован методический подход к оценке качества почв земель сельскохозяйственного назначения на основе учета показателей загрязнения почв тяжелыми металлами.

**Теоретическая и практическая значимость результатов исследований.** Полученные данные бонитировочной и эколого-токсикологической оценки почв могут быть использованы как сельхозпроизводителями Волгоградской области для рационализации и стратегического планирования ведения сельскохозяйственной деятельности, так и надзорными органами в области сельскохозяйственного производства для принятия мер по обеспечению повышения качества земель и сельскохозяйственной продукции. Предложенный методический подход к оценке качества почв также может быть использован при проведении земельно-оценочных работ и определения уровня стоимости земель, арендной платы, налоговых отчислений с земель и др.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- содержание тяжелых металлов как фактор, определяющий экологическое состояние почв земель сельскохозяйственного назначения в сухостепной зоне Волгоградской области;

- характеристика качества почв земель сельскохозяйственного назначения сухостепной зоны Волгоградской области на основе бонитировочной оценки по агрохимическим показателям;

- бонитировочная оценка почв земель сельскохозяйственного назначения сухостепной зоны Волгоградской области с учетом их загрязнения тяжелыми металлами.

**Методология и методы исследований.** Исследования проводились на основе системного подхода, включающего в себя аналитический обзор научной и нормативно-правовой литературы в области оценки качества почв и земель сельскохозяйственного назначения, а также систематизацию и обработку экспериментальных данных, получаемых в результате натурных наблюдений. В работе применялись математические методы обработки информации, такие как корреляционно-регрессионный анализ и статистический анализ. Решение поставленных задач осуществлялось с помощью использования специальных

программных продуктов для составления графических материалов (Excel, ArcGis, CorelDraw и др.).

**Степень достоверности работы.** Достоверность выводов и научных положений диссертации подтверждается тщательным обоснованием предлагаемых методик и разработанных моделей, осуществлением мониторинга в соответствии с методическими указаниями, проведением аналитических испытаний в аккредитованной лаборатории по методикам ГОСТ, сопоставлением полученных результатов с данными отечественных и зарубежных исследований.

**Апробация работы.** Полученные на различных этапах исследования выводы и результаты представлялись научной общественности в докладах, выступлениях, рекомендациях, обсуждались и получили положительную оценку на международных и всероссийских научных конференциях: Всероссийской научно-практической конференции «Экологическая безопасность и охрана окружающей среды в регионах России: теория и практика» (Волгоград, 2015; 2016), IV Международной научной конференции «Эволюция и деградация почвенного покрова» (г. Ставрополь, 2015), Международной научно-практической интернет-конференции «Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования» (с. Соленое Займище, 2016; 2017), XXI Региональной конференции молодых исследователей Волгоградской области (г. Волгоград, 2016), IV Международной научно-практической конференции «Антропогенная трансформация геопространства: история и современность» (г. Волгоград, 2017), Международной научно-практической конференции «Научно-практические пути повышения экологической устойчивости и социально-экономическое обеспечение сельскохозяйственного производства» (с. Соленое Займище, 2017), V Международной научно-практической конференции «Антропогенная трансформация геопространства: природа, хозяйство, общество» (г. Волгоград, 2019), а также на научных семинарах ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет». Результаты исследований (частично) прошли апробацию в рамках реализации государственного задания Министерства образования и науки РФ №40.7534.2017/8.9 «Разработка экологоориентированных биотехнологий оптимизации аридных агробиоценозов Юга России на основе достижений физико-химической биологии и биоинформатики».

**Публикация результатов исследований.** Наиболее существенные положения и результаты исследований отражены в 17 публикациях общим объемом 7,4 п.л., в том числе с долей автора 3,2 п.л.; среди них 3 статьи в международных базах Scopus/Web of Science; 2 статьи из списка рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук списка ВАК РФ.

**Объем и структура работы.** Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, библиографического списка и приложений. Список использованной литературы включает 201 источник, в том числе 10 источников иностранных авторов. Содержание работы изложено на 182 страницах, включает 17 таблиц, 87 рисунков и 16 приложений.

**Личный вклад автора.** Личный вклад соискателя состоит в определении актуальности темы исследований, проведении аналитического обзора отечественной и зарубежной литературы по исследуемой тематике, постановке и разработке основных теоретических положений и путей выполнения основополагающих задач, подборе стандартных методик и усовершенствовании методики оценки качества почв на основе учета агрохимических показателей и показателей загрязнения почв тяжелыми металлами, непосредственном участии в получении исходных данных, обработке и интерпретации полученных результатов, формулировке выводов, публикации научных работ. Доля личного участия в подготовке и написании диссертации составляет свыше 90%.

Отдельные фрагменты работы выполнены при участии сотрудников ФГБУ «Центр агрохимической службы «Волгоградский»», которым автор выражает признательность и благодарность.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** представлен обзор литературы по проблеме техногенного загрязнения агроэкосистем тяжелыми металлами, рассмотрены методические подходы к определению степени загрязнения почв тяжелыми металлами, проанализировано современное состояние вопроса оценки качества почв сельскохозяйственного назначения в России и за рубежом.

**Во второй главе** рассмотрены агроклиматические и почвенные ресурсы Волгоградской области. Характерными особенностями климата являются

хорошая обеспеченность радиационными и тепловыми ресурсами, продолжительный период активной вегетации, низкая влагообеспеченность, активный ветровой режим. Территория, на которой проводилось исследование, расположена в пределах сухостепной почвенной зоны, в пределах которой выделяются три подзоны: темно-каштановых, каштановых и светло-каштановых почв. Темно-каштановая подзона занимает междуречье рек Иловли и Дона в пределах Фроловского и Клетского административных районов. Каштановая подзона является преобладающей среди всех на территории исследования. Для каштановой подзоны характерна более ярко выраженная комплексность почв, постоянным компонентом которых являются солонцы. Подзона охватывает Ергенинскую возвышенность в пределах Иловлинского, Суровикинского, частично Калачевского и Дубовского административных районов. Подзона светло-каштановых почв занимает Ергенинскую возвышенность и Сарпинскую низменность в пределах, Светлоярского, Среднеахтубинского, Ленинского, а также частично Дубовского и Калачевского административных районов.

**В третьей главе** представлена характеристика объектов и методов исследования. Экспериментальная работа выполнялась в период 2014-2017 гг. путем проведения агроэкологического мониторинга, агрохимического и эколого-токсикологического исследований почвенных образцов, определения химического состава и качественных показателей урожая. Оценка динамики содержания в почвах тяжелых металлов за период 2000-2013 гг. была проведена путем анализа многолетних данных агроэкологического мониторинга почв ФГБУ ЦАС «Волгоградский».

Локальный агроэкологический мониторинг проводился на 21 реперном участке, заложенных в техногенно-загрязненных зонах земель сельскохозяйственного назначения на территории Городищенского (реперные участки №№1, 2, 7, 10, 21), Калачевского (реперные участки №№3, 4, 17), Иловлинского (реперные участки №№5, 6), Светлоярского (реперные участки №№8, 9), Дубовского (реперные участки №№11, 12), Ленинского (реперные участки №№13, 14), Среднеахтубинского (реперные участки №№15, 16), Суровикинского (реперный участок №18) и Фроловского (реперные участки №№19, 20) муниципальных районов (рисунок 1).

Мониторинг осуществлялся в соответствии с методическими указаниями по проведению локального мониторинга на реперных и контрольных участках (2004).

В процессе полевых работ применялись приемы и оборудование, соответствующие нормативно установленным стандартам. Обследование почв по эколого-токсикологическим показателям проводилось ежегодно в начале вегетационного периода растений, агрохимическое обследование - один раз в два года, определение химического состава и качества урожая – ежегодно.



Рисунок 1 - Схема расположения реперных участков на почвенной карте Волгоградской области

Лабораторные исследования проводились в аккредитованной лаборатории ФГБУ ЦАС «Волгоградский» и на кафедре экологии и природопользования ВолГУ. Комплексный анализ почвенных образцов предусматривал определение следующих показателей: содержание гумуса по методу Тюринга в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91); содержание подвижных форм калия ( $K_2O$ ) и фосфора ( $P_2O_5$ ) по методу Мачигина в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26205-91; содержание щелочно-гидролизуемого (подвижного) азота - по методу Корнфилда в соответствии с методическими

указаниями по проведению анализов почв в зональных агрохимических лабораториях; определение рН водной вытяжки в соответствии с ГОСТ 26423-85; определение содержания обменных форм кальция ( $\text{Ca}^{+2}$ ), магния ( $\text{Mg}^{+2}$ ) и натрия ( $\text{Na}^{+2}$ ) в соответствии с ГОСТ 26950-86, ГОСТ 26210-91; содержание подвижных форм микроэлементов (медь, марганец, цинк, кобальт) в соответствии с ГОСТ Р 50684-94, ГОСТ Р 50685-94, ГОСТ Р 50686-94, и ГОСТ Р 50687-94; содержание подвижной серы в соответствии с ГОСТ 26490-85 в модификации ЦИНАО; наличие в почве долгоживущих радионуклидов ( $\text{Sr-90}$  и  $\text{Cs-137}$ ), Бк/кг в соответствии с ГОСТ Р 54038-2010, ГОСТ Р 54041-2010, инструкцией и методическими указаниями по оценке радиационной обстановки на загрязненной территории (1989) и методическими указаниями по определению содержания стронция-90 и цезия-137 в почвах и растениях (1993).

Эколого-токсикологические исследования почвенных образцов включали определение содержания подвижных форм тяжелых металлов (цинк, кадмий, свинец, никель, медь), валовых форм мышьяка и ртути в соответствии с методическими указаниями по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства (1992), методическими указаниями по определению мышьяка в почвах фотометрическим методом (1993) на приборе ФЭК-3. Анализ урожая сельскохозяйственной продукции на содержание свинца, кадмия, меди и цинка проводился методом пламенной атомной абсорбции, мышьяка - колориметрическим методом, ртути - атомно-абсорбционным методом. Определение тяжелых металлов проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии с пламенной и беспламенной атомизацией на приборах СПЕКТР-5-3, КВАНТ-2А, КВАНТ.Z, ЮЛИЯ-МК. Радионуклиды  $\text{Cs-137}$  и  $\text{Sr-90}$  определялись на комплексе ПРОГРЕСС-2000.

Расчет балла плодородия почв производился по методу ЦИНАО. На каждом реперном участке был рассчитан общий балл бонитета почвы, а также балл бонитета отдельно по основным и сопутствующим показателям плодородия почв.

**В четвертой главе** отражены результаты исследования агрохимического и эколого-токсикологического состояния почв земель сельскохозяйственного назначения сухостепной зоны Волгоградской области за период 2000-2017 гг.

Почвы земель сельскохозяйственного назначения сухостепной зоны Волгоградской области относятся к слабо- и среднегумусированным (таблица 1). Наибольшее значение показателя – до 2,95% отмечалось в почвах

Фроловского, наименьшее – 1,6% - в почвах Ленинского района. Анализируя многолетнюю динамику содержания гумуса в почвах исследуемой территории можно отметить положительную тенденцию увеличения этого показателя в период 2015-2017 гг.

Почвы на большей части исследованной территории характеризуются слабой степенью хлоридно-сульфатного, сульфатно-хлоридного и хлоридного засоления, низким содержанием гидролизуемым азота, средним – подвижного фосфора, повышенным – обменного калия. Содержание подвижного фосфора в почвах различных районов области варьирует от 7,3 (Городищенский р-н, 2005 г.) до 134,4 (Светлоярский р-н, 2009 г.) мг/кг, обменного калия – от 110 (Дубовский р-н, 2011 г.) до 800 (Ленинский, Дубовский р-ны, 2001 г.; Светлоярский р-н, 2005, 2007 гг.; Иловлинский р-н, 2007 г.) мг/кг. Содержание серы, как элемента питания, в почвах сухостепной зоны колеблется от 4,0 до 9,4 мг/кг почвы, что свидетельствует о средней степени обеспеченности.

Реакция почвенного раствора в почвах варьирует от среднекислой (4,8) на участках Среднеахтубинского района до слабощелочной (7,8) в Калачевском районе.

Обеспеченность пахотного слоя исследуемой территории микроэлементами сильно варьировало по годам исследований: содержание меди – от 0,03 до 057 мг/кг, цинка – от 0,21 до 2,46 мг/кг, кобальта– от 0,01 до 0,12 мг/кг, марганца – от 1,9 до 47,1 мг/кг.

Содержание радионуклидов в почвах исследуемой зоны во все годы исследований было значительно ниже установленных нормативов (эффективной удельной активности 370 Бк/кг). Среднемноголетние значения содержания стронция-90 в почве находились в пределах 2,0-6,1 Бк/кг, цезия-137 – в пределах 4,2-11,1 Бк/кг, при этом максимальные значения содержания радионуклидов отмечались в почвах Калачевского района. Наличие в образцах растительной продукции радионуклидов за весь период проведения исследований не выявлено.

В результате проведения эколого-токсикологической оценки почв установлено, что среднемноголетние значения содержания в исследуемых почвах подвижных форм свинца, цинка, кадмия и валовой формы ртути не превышали значений ПДК и ОДК.

Таблица 1 - Агрохимические показатели почвенного плодородия на реперных участках, в среднем за 2000-2017 гг.

№	Район	Гумус, %	Фосфор, мг/кг	Калий, мг/кг	рН	Нг, мг*экв /кг	Са++, мг*экв/кг	Мg++, мг*экв/кг	Na++, мг*экв/кг	Сu, мг/кг	Zn, мг/кг	Со, мг/кг	Мn, мг/кг	S, мг/кг
1	Городищенский	1,73	29,4	348	7,1	0,51	22,4	4,98	0,40	0,24	0,60	0,05	20,2	6,3
2	Городищенский	1,60	28,0	346	7,2	0,42	20,9	6,87	0,43	0,24	0,65	0,06	21,2	5,3
3	Калачевский	1,92	51,3	384	7,3	0,44	19,6	6,80	0,58	0,25	0,89	0,04	27,9	8,8
4	Калачевский	1,60	56,3	442	7,4	0,36	22,1	5,66	0,68	0,22	0,99	0,04	22,8	8,1
5	Иловлинский	1,78	44,2	427	7,0	0,72	18,2	4,17	0,34	0,16	0,57	0,05	14,6	4,7
6	Иловлинский	2,23	55,2	342	7,1	0,70	17,6	4,76	0,34	0,19	0,85	0,06	16,0	5,1
7	Городищенский	1,90	36,7	324	7,2	0,56	20,6	4,40	0,36	0,23	0,81	0,05	22,0	4,3
8	Светлоярский	2,44	40,4	626	7,4	0,44	20,3	6,59	0,60	0,31	0,92	0,05	24,5	9,4
9	Светлоярский	1,80	51,4	462	7,4	0,37	20,0	4,97	0,51	0,24	0,83	0,04	22,0	7,3
10	Городищенский	1,84	39,3	322	7,4	0,42	15,5	3,55	0,42	0,29	1,26	0,05	20,0	5,8
11	Дубовский	1,82	43,4	388	7,3	0,49	15,6	3,41	0,33	0,21	0,88	0,04	21,6	8,8
12	Дубовский	1,80	29,0	221	7,0	0,71	12,4	2,68	0,24	0,20	0,64	0,04	12,8	4,0
13	Ленинский	1,87	42,9	419	7,3	0,45	19,3	6,33	0,62	0,29	0,82	0,04	22,8	5,8
14	Ленинский	1,57	36,3	406	7,3	0,45	20,0	6,67	0,83	0,30	0,75	0,04	19,7	6,2
15	Ср. Ахтубинский	1,72	52,8	430	7,3	0,43	19,7	4,82	0,54	0,26	0,74	0,05	22,2	6,2
16	Ср. Ахтубинский	1,86	48,1	351	6,8	0,78	15,4	4,90	0,46	0,29	2,10	0,05	21,6	7,5
17	Калачевский	2,25	33,5	369	6,7	1,19	21,3	6,36	0,42	0,19	0,53	0,07	21,5	4,9
18	Суровикинский	1,77	31,9	378	6,8	0,80	19,8	5,59	0,43	0,19	0,58	0,06	19,4	5,7
19	Фроловский	2,15	40,0	366	6,8	1,03	20,7	5,76	0,29	0,13	0,56	0,05	13,8	5,2
20	Фроловский	1,87	43,7	303	6,6	1,38	14,0	3,64	0,28	0,13	0,50	0,05	14,8	6,7
21	Городищенский	1,81	41,7	338	7,1	0,52	21,1	6,97	0,57	0,18	0,65	0,04	18,4	7,3

Максимальная среднемноголетняя концентрация цинка была зафиксирована на участках №6 (Иловлинский район) и №16 (Среднеахтубинский район) - 6,67 мг/кг и 6,71 мг/кг, минимальная - на участках №11 и №12 (Дубовский район) – 3,94 мг/кг и 3,65 мг/кг соответственно.

Среднемноголетняя концентрация кадмия в почвах составляла в среднем 0,1-0,13 мг/кг, ртути - 0,014-0,025 мг/кг. На реперных участках №8 (Светлоярский р-н) и №21 (Городищенский р-н) были зафиксированы наибольшие значения среднемноголетней концентрации свинца (5,47 и 5,45 мг/кг соответственно), которые близки к значениям ПДК. Наименьшие значения концентрации этого элемента (3,22-3,25 мг/кг) отмечались на участках №11 и №12 (Дубовский район).

По содержанию в почве никеля, меди и мышьяка были выявлены значительные превышения концентраций установленным для этих элементов ПДК (рис. 2-5).

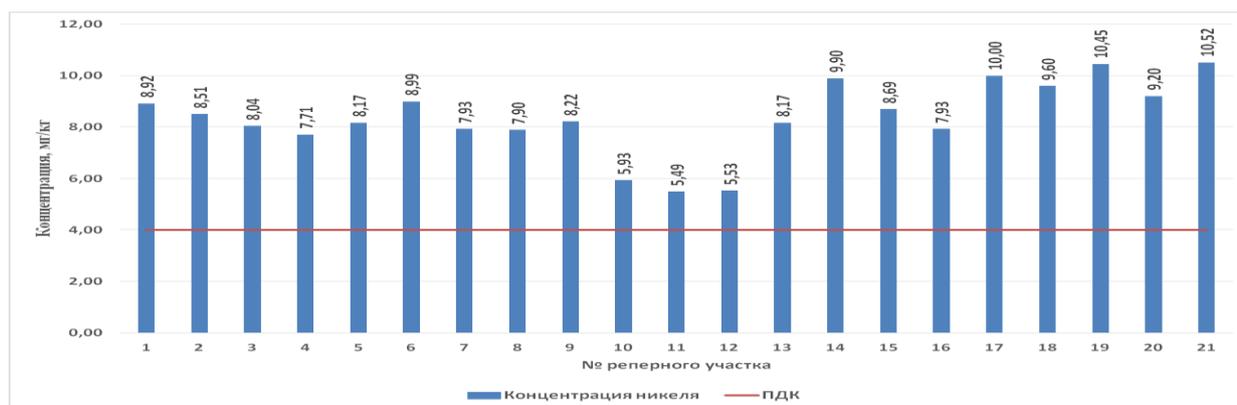


Рисунок 2 - Среднемноголетняя концентрация никеля (Ni) в почве на реперных участках (Городищенский р-н – 1, 2, 7, 10, 21; Дубовский р-н – 11, 12; Иловлинский р-н – 5, 6; Калачевский р-н – 3, 4, 17; Ленинский р-н – 13, 14; Светлоярский р-н – 8, 9; Среднеахтубинский р-н – 15, 16; Суровикинский р-н – 18; Фроловский р-н – 19, 20).

Концентрация никеля на всех реперных участках превышала ПДК в среднем в 2-3 раза за исключением участков №11, 12 (Дубовский р-н), на которых превышение ПДК было менее значительным. Отмечено, что общая тенденция изменения содержания никеля в почве имеет волновой характер; снижение концентрации элемента отмечено в 2000-2004 гг., 2007-2009 гг., 2011-2015 гг., увеличение - в 2004-2007 гг., 2009-2011 гг. и 2015-2017 гг. Концентрация никеля достигала наивысших значений на участках №1 – 15,3 мг/кг (2010 г.),

№14 – 18,7 мг/кг (2006 г), №19 – 15,8 мг/кг (2010 г.), №21 – 15,8 мг/кг (2007 г.). В 2006-2007 гг. и в 2011 году наблюдалось резкое повышение содержания никеля в почвах на большинстве исследуемых участков.

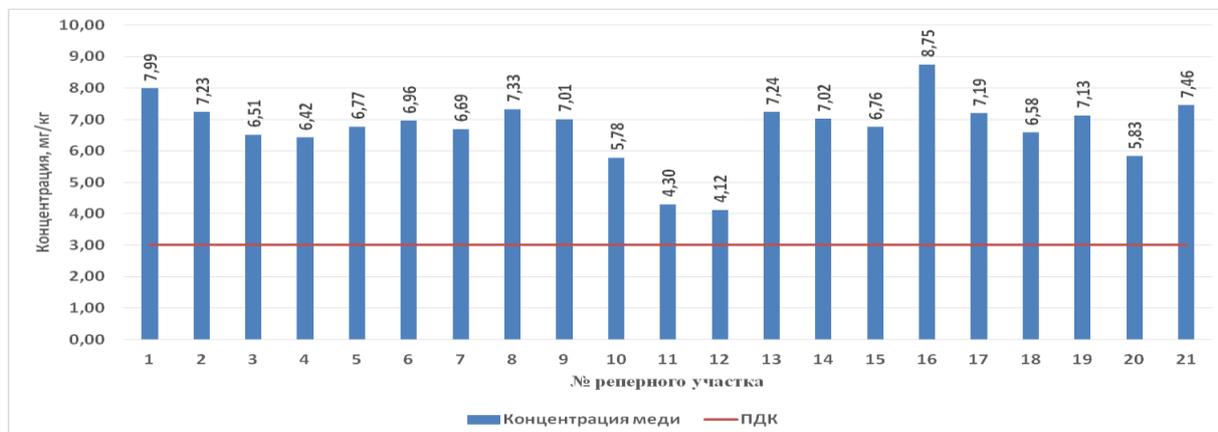


Рисунок 3 - Среднемноголетняя концентрация меди (Cu) в почве на реперных участках (Городищенский р-н – 1, 2, 7, 10, 21; Дубовский р-н – 11, 12; Иловлинский р-н – 5, 6; Калачевский р-н – 3, 4, 17; Ленинский р-н – 13, 14; Светлоярский р-н – 8, 9; Среднеахтубинский р-н – 15, 16; Суровикинский р-н – 18; Фроловский р-н – 19, 20).

Уровень содержания меди в почве в период исследований превышал ПДК в среднем в 2-2,5 раза. Наибольшие значения концентрации элемента выявлены на участках №8 – 11,9 мг/кг (2005 г.) и 11,4 мг/кг (2015 г.); №13 – 10,6 мг/кг (2000 г.) и 10,0 (2016 г.); №16 – 11,3 мг/кг (2006 г.) и 10,4 мг/кг (2007 г.).

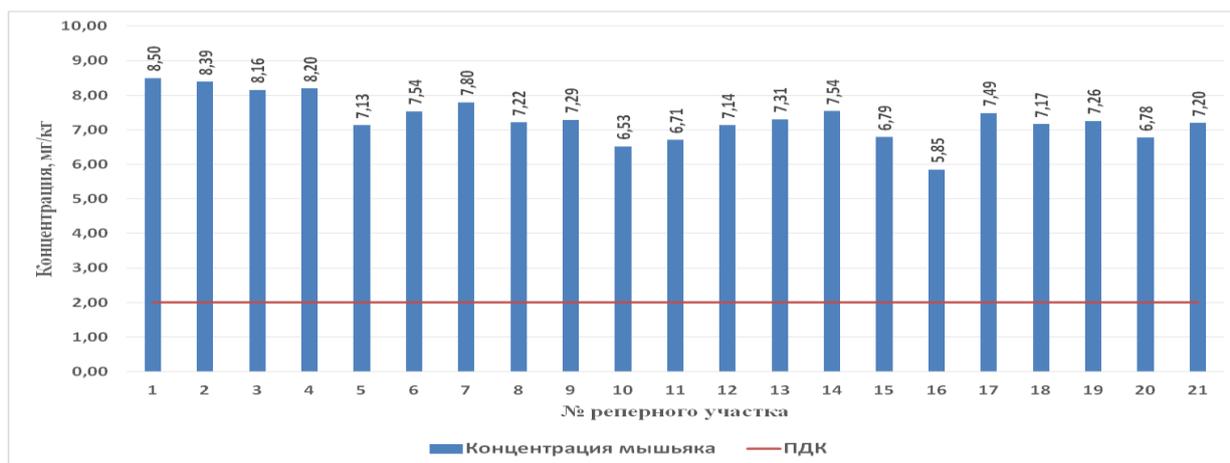


Рисунок 4 - Среднемноголетняя концентрация мышьяка (As) в почве на реперных участках (Городищенский р-н – 1, 2, 7, 10, 21; Дубовский р-н – 11, 12; Иловлинский р-н – 5, 6; Калачевский р-н – 3, 4, 17; Ленинский р-н – 13, 14; Светлоярский р-н – 8, 9; Среднеахтубинский р-н – 15, 16; Суровикинский р-н – 18; Фроловский р-н – 19, 20).

Среднегодовое концентрации мышьяка на всей обследованной территории превышали ПДК в 3-3,5 раза, на отдельных участках (№№1, 2 Городищенского района и №№3, 4 Калачевского района) среднегодовое концентрации мышьяка превышала ПДК в 4 раза.

В пятой главе представлены результаты бонитировочной оценки почв земель сельскохозяйственного назначения Волгоградской области. На каждом реперном участке был рассчитан общий балл бонитета, а также балл бонитета отдельно по основным показателям плодородия и по сопутствующим. Установлено, что почвы на обследуемой территории относятся к VII-X классам бонитета и принадлежат к категории средних и лучших (рис. 5). Общий балл бонитета почв за весь период исследований не опускался ниже значений, соответствующих VI классу бонитета.

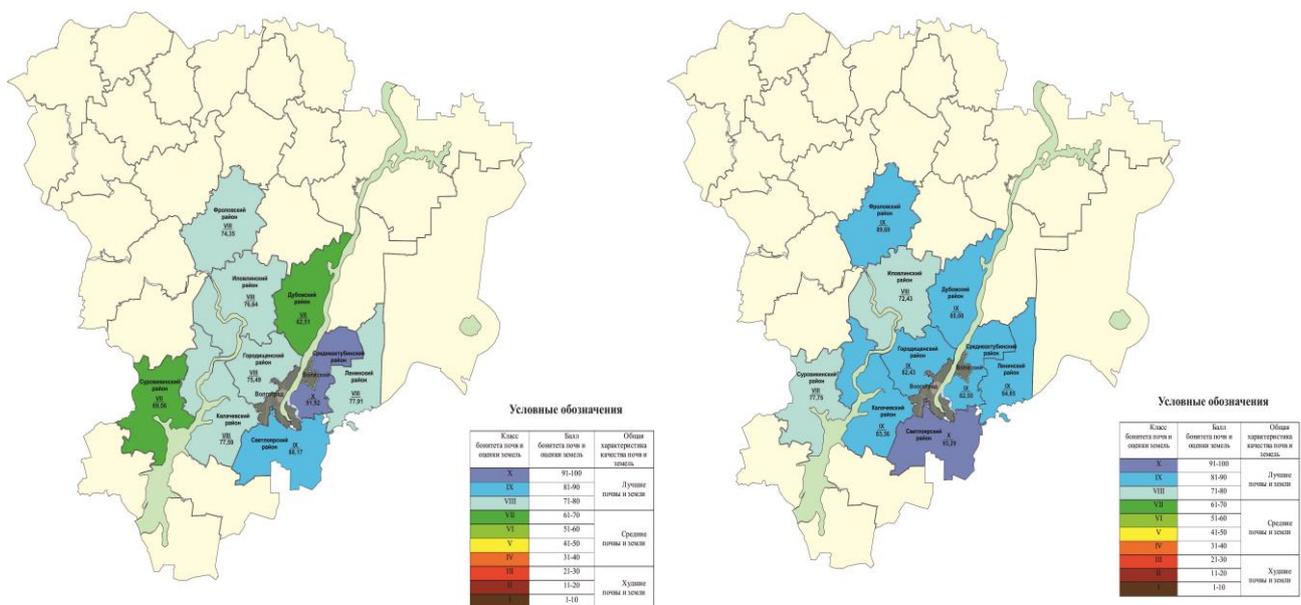


Рисунок 5 - Картограмма бонитировочной оценки почв по данным 2001 и 2017 гг.

Анализируя многолетнюю динамику изменения балла бонитета за период 2001-2017 гг., можно отметить на территории Фроловского, Городищенского, Калачевского, Ленинского районов повышение балла и соответственно класса бонитета с 71-80 (VIII) до 81-90 (IX), на территории Дубовского района – с 61-70 (VII) до 81-90 (IX), на территории Суровикинского - с 61-70 (VII) до 81-90 (IX). Балл бонитета на территории Иловлинского района 71-80 (VIII) остался без изменений, на территории Среднеакhtubинского района снизился с 91-100

(X) до 81-90 (IX). В 2005-2007 гг. и 2010-2011 гг. на большей территории было отмечено снижение балла бонитета почв.

Значение балла бонитета почв изменялось не только по годам исследований, но и в течение вегетационного периода в зависимости от обеспеченности почвы элементами питания в результате внесения минеральных удобрений. Общий уровень балла бонитета по сопутствующим агрохимическим показателям на всех реперных участках был несколько ниже, чем уровень балла бонитета по основным показателям, что свидетельствует о лучшей обеспеченности почв макроэлементами по сравнению с микроэлементами.

**В шестой главе** представлен новый методический подход к разработке методики бонитировки почв с учетом их загрязненности тяжелыми металлами и установленной корреляционной зависимости между содержанием тяжелых металлов (цинка, кадмия, свинца, меди, мышьяка) в почве и в растительной продукции (озимая пшеница, разнотравье).

1) Определялся коэффициент качества почв по каждому тяжелому металлу по формуле:

$$ККП_m = \frac{A}{X},$$

где:  $ККП_m$  – коэффициент качества почв по содержанию тяжелого металла;  $X$  – фактическое значение содержания тяжелого металла в почве;  $A$  – ПДК тяжелого металла в почве (оптимальное значение).

При этом коэффициент качества почв будет тем ниже, чем выше концентрация тяжелого металла в почве относительно ПДК. Если коэффициент качества почвы по конкретному тяжелому металлу будет превышать значение 1, это означает, что концентрация металла в почве находится ниже ПДК и в расчете итогового балла бонитета он не учитывается. Вычисленное значение коэффициента показывает качественное состояние почвы относительно оптимального качества почв. За оптимальное качество почв принимается значение коэффициента 1 (100% качество).

2) Общий балл бонитета почвы рассчитывался с учетом влияния каждого тяжелого металла по формуле:

$$B_{\text{общ}} = 0,5 \cdot (B_1 + B_2) \cdot ККП_m ,$$

где:  $B_1$  – балл бонитета по основным агрохимическим показателям;  $B_2$  – балл бонитета по сопутствующим агрохимическим показателям;  $ККП_m$  – коэффициент качества почвы по содержанию тяжелого металла.

3) Итоговый балл бонитета почвы рассчитывался как среднее арифметическое общих баллов бонитета, скорректированных по ККП<sub>м</sub>

$$B_{ит} = \frac{B_{общ1} + B_{общ2} + \dots + B_{общn}}{n},$$

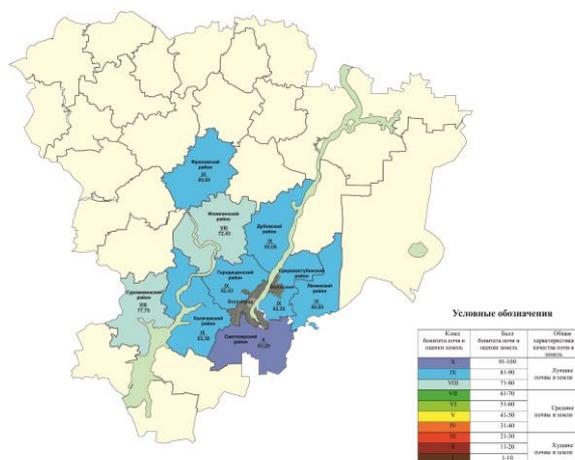
где:  $B_{общ1,2,n}$  – общий балл бонитета скорректированный по ККП для каждого тяжелого металла;  $n$  – число учитываемых в расчете тяжелых металлов.

На основе полученных данных была проведена корректировка бонитировочной оценки почв с учетом выявленных коэффициентов качества почв (ККП) за период 2001-2017 гг. Результаты бонитировочной оценки почв в 2017 году с учетом корректировки по коэффициенту качества почв представлены в таблице 2.

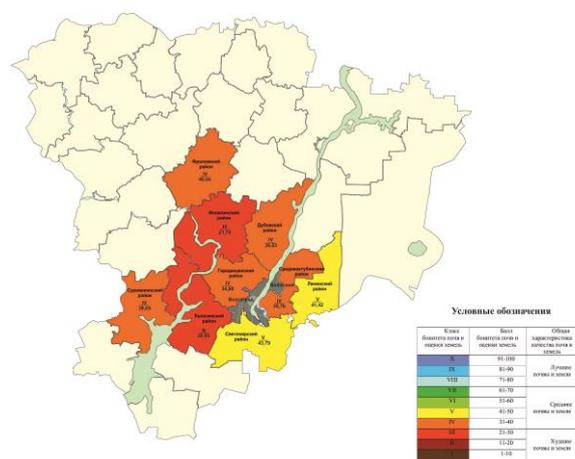
Таблица 2 - Результаты бонитировочной оценки почв на реперных участках в 2017 году с учетом корректировки по коэффициенту качества почв (ККП)

Административный район	РУ, №	Балл бонитета	Класс бонитета	ККП(Pb)	ККП(Ni)	ККП(Cu)	ККП(As)	Скорректированный балл бонитета	Скорректированный класс бонитета
Городищенский	1	85,06	IX		0,48	0,46	0,26	34,02	IV
	2	85,31	IX		0,48	0,43	0,26	33,27	IV
	7	80,55	VIII		0,50	0,52	0,26	34,37	IV
	10	91,13	X		0,51	0,50	0,26	38,58	IV
	21	70,09	VII	0,93	0,36	0,39	0,27	34,17	IV
Калачевский	3	86,24	IX		0,47	0,40	0,26	32,48	IV
	4	82,33	IX		0,44	0,44	0,25	31,01	IV
	17	81,52	IX		0,42	0,42	0,24	29,35	III
Иловлинский	5	65,70	VII		0,29	0,34	0,26	19,49	II
	6	79,16	VIII		0,29	0,35	0,27	24,01	III
Светлоярский	8	95,08	X		0,53	0,45	0,34	41,84	V
	9	91,50	X	0,87	0,55	0,32	0,26	45,75	V
Дубовский	11	83,95	IX		0,50	0,67	0,25	39,73	IV
	12	86,21	IX	0,67	0,52	0,33	0,24	37,93	IV
Ленинский	13	86,54	IX	0,91	0,47	0,35	0,36	45,22	V
	14	83,17	IX	0,87	0,39	0,30	0,25	37,63	IV
Средне-ахтубинский	15	83,36	IX		0,43	0,34	0,37	31,68	IV
	16	81,73	IX	0,89	0,39	0,32	0,35	39,84	IV
Суровикинский	18	77,75	VIII	0,93	0,39	0,41	0,31	39,65	IV
Фроловский	19	92,20	X		0,55	0,50	0,27	40,57	IV
	20	87,16	IX		0,54	0,53	0,29	39,51	IV

Картограмма бонитировочной оценки почв по данным 2017 года представлена на рисунке 6.



а)



б)

Рисунок 6 - Картограмма бонитировочной оценки почв по данным 2017 года: а) бонитет почв; б) бонитет почв с учетом загрязнения тяжелыми металлами

Установлено, что на реперных участках №№1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 20 класс бонитета почв снизился на 5 позиций. Максимальное снижение значений класса бонитета выявлено на реперных участках №10 Городищенского района, №17 Калачевского района и №19 Фроловского района – 6 позиций. Минимальное снижение класса бонитета почв зафиксировано на реперном участке №21 в Городищенском районе и составило 3 позиции. На остальных реперных участках класс бонитета снизился на 4 позиции. Общий уровень снижения класса бонитета в целом по зоне исследования повысился по сравнению с предыдущим годом исследования.

В результате бонитировочной оценки с учетом корректировки по коэффициенту качества почв за весь период исследований были выявлены

значительные изменения исходных баллов бонитета в сторону уменьшения. Балл бонитета после корректировки снижался в среднем на 50-60% от первоначального значения. Наибольшая разница в значениях баллов и классов бонитета зафиксирована в 2005, 2007, 2013 и 2017 гг., когда на большинстве реперных участков было отмечено снижение класса бонитета на 5-6 порядков. Наименьший общий уровень снижения значений баллов и классов бонитета зафиксирован в 2009 году, когда максимальная разница в классах бонитета составила 5 позиций на 6 реперных участках.

Изменение категории почв от лучших к худшим отмечалось в годы исследований на следующих реперных участках:

2001 г. - №6 Иловлинского района, №№13, 14 Ленинского района, №19 Фроловского района;

2003 г. - №18 Суровикинского района и №21 Городищенского района;

2005 г. – №№1, 2 Городищенского района; №№4, 17 Калачевского района; №№5, 6 Иловлинского района и №20 Фроловского района;

2007 г. - №1 Городищенского района; №№4, 17 Калачевского района; №6 Иловлинского района; №№13, 14 Ленинского района; №16 Среднеахтубинского района; №18 Суровикинского района и №19 Фроловского района;

2009 г. - №17 Калачевского района;

2011 г. - №3 Калачевского района; №6 Иловлинского района; №9 Светлоярского района; №14 Ленинского района; №15 Среднеахтубинского района; №№19, 20 Фроловского района и №21 Городищенского района;

2013 г. - №№1, 2, 7, 21 Городищенского района; №14 Ленинского района; №18 Суровикинского района; №№19, 20 Фроловского района;

2015 г. - №14 Ленинского района;

2017 г. - №6 Иловлинского района и №17 Калачевского района.

Рассматривая полученные данные применительно к административным районам, стоит отметить, что наименьший уровень снижения класса бонитета после корректировки наблюдался на участках Дубовского района, наивысший - на территории Светлоярского и Ленинского районов.

## ВЫВОДЫ

1. Почвы сельскохозяйственного назначения сухостепной почвенной зоны Волгоградской области в целом характеризуются средним и низким уровнем содержания гумуса, средним содержанием подвижного фосфора и серы, повышенным - обменного калия. Содержание в пахотном слое таких микроэлементов, как медь, цинк, кобальт – низкое, марганец - высокое. Среднемноголетние значения содержания в почве радионуклидов (стронция-90, цезия-137) значительно ниже установленных нормативов.

2. Установлено наличие загрязнения почвенного покрова исследуемой территории тяжелыми металлами (медь, никель, мышьяк). Среднемноголетнее значение концентрации никеля в почвах превышало ПДК в 2-3 раза на всех реперных участках, кроме участков, расположенных в Дубовском районе. Среднемноголетний уровень содержания меди в почве превышал ПДК в среднем в 2-2,5 раза. Среднемноголетние концентрации мышьяка в почве превышали ПДК в 3-3,5 раза, на отдельных участках (№№1, 2 Городищенского района и №№3, 4 Калачевского района) среднемноголетняя концентрация мышьяка превышала ПДК в 4 раза. В отдельные годы отмечалось превышение ПДК концентраций свинца в почвах Городищенского, Калачевского, Иловлинского, Светлоярского, Ленинского районов.

3. В результате проведенной бонитировочной оценки почв на реперных участках за период 2001-2017 гг. установлено, что почвы на обследуемой территории относятся к VII-X классам бонитета и принадлежат к категории средних и лучших. Наивысшими классами бонитета характеризуются почвы в Калачевском, Среднеахтубинском и Светлоярском муниципальных районах, наиболее низкий уровень классов бонитета характерен для почв Дубовского муниципального района. В результате анализа многолетней динамики балла бонитета почв отмечена общая тенденция к снижению значений показателя на обследуемой территории в период 2009-2011 гг. Общий уровень баллов

бонитета по основным агрохимическим показателям на всех реперных участках выше, чем по сопутствующим агрохимическим показателям (микроэлементам).

4. Разработан и апробирован новый методический подход к бонитировочной оценке почв на основе агрохимических показателей с учетом загрязнения почв тяжелыми металлами путем введения в расчет общего балла бонитета корректировочного коэффициента качества почв для каждого тяжелого металла. Расчет коэффициента качества почв (ККП) проводится на основе ПДК тяжелого металла в почве, что отражает качество почв по содержанию конкретного тяжелого металла относительно оптимального безопасного уровня.

5. В результате бонитировочной оценки с учетом корректировки по коэффициенту качества почв были выявлены значительные изменения исходных баллов бонитета в сторону уменьшения. Балл бонитета после корректировки снижался в среднем на 50-60% от первоначального значения, класс бонитета почв - с VII-IX до III-V – от лучших и средних почв и земель к средним и худшим, а в отдельных случаях - от лучших почв и земель к худшим. Наибольшее снижение баллов бонитета в период 2000-2017 гг. отмечено для почв Светлоярского и Ленинского районов (6 позиций), наименьшее – для почв Дубовского района (3-4 позиции).

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### ***Статьи в научных журналах, включенных в Перечень ВАК РФ***

1. **Водолазко, А.Н.** Бонитировка почв сельскохозяйственных земель с учетом загрязнения тяжелыми металлами / **А.Н. Водолазко, Е.А. Иванцова** // Известия КГТУ.– 2019. – №54. - С. 20-30.
2. **Водолазко, А.Н.** Влияние загрязнения почв сельскохозяйственных земель тяжелыми металлами на их бонитировочную оценку (на примере Волгоградской области) / **А.Н. Водолазко, Е.А. Иванцова** // Проблемы региональной экологии. - 2019. - №4. – С. 111-115.

*Статьи в изданиях, включенных в мировую базу данных научного цитирования Scopus, WoS*

3. Иванцова, Е.А. Влияние присутствия подвижных форм Zn, Cu, Ni на функционирование системы «почва-микробиота-растение» в зерновых агроценозах / Е.А. Иванцова, А.В. Холоденко, А.А. Тихонова, Н.В. Герман, М.В. Постнова, **А.Н. Водолазко** // Экология и промышленность России. – 2018. – Т. 22.-№12. – С. 56-59.
4. **Водолазко, А.Н.** Тяжелые металлы в почвах сухостепной зоны Волгоградской области / **А.Н. Водолазко**, Е.А. Иванцова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. - 2018. – №2 (50). – С. 124-131.
5. **Водолазко, А.Н.** Качество почв земель сельскохозяйственного назначения сухостепной почвенной зоны Волгоградской области / **А.Н. Водолазко**, Е.А. Иванцова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2018. - №2 (50). – С. 150-157.

*Статьи в других научных изданиях*

6. **Водолазко, А.Н.** Эколого-токсикологическая характеристика почв сухостепной зоны Волгоградской области / **А.Н. Водолазко**, Е.А. Иванцова // Экологическая безопасность и охрана окружающей среды в регионах России: теория и практика: материалы всероссийской научно-практической конференции. – Волгоград, 2015. – С. 141-147.
7. **Водолазко, А.Н.** Плодородие каштановых и светло-каштановых почв сухостепной почвенной зоны Волгоградской области / **А.Н. Водолазко**, Е.А. Иванцова, Д.А. Ясинский // Актуальные вопросы развития аграрной науки в современных экономических условиях: материалы IV международной научно-практической конференции молодых ученых. – Солёное Займище, 2015. – С. 158-160.
8. **Водолазко, А.Н.** Эколого-токсикологическая характеристика почв земель сельскохозяйственного назначения сухостепной почвенной зоны Волгоградской области / **А.Н. Водолазко**, О.В. Сухова, В.В. Болдырев, А.А. Шошин // Эволюция и деградация почвенного покрова: материалы IV международной научной конференции. – Ставрополь, 2015. – С. 122-124.
9. **Водолазко, А.Н.** Плодородие каштановых и светло-каштановых почв Волгоградской области / **А.Н. Водолазко**, О.В. Сухова, В.В. Болдырев //

- Современные проблемы агрохимии в условиях поиска устойчивого функционирования агропромышленного комплекса при техногенных ситуациях: материалы 50-й международной научной конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов, посвященной 75-летию организации Географической сети опытов с удобрениями. – М., 2016. – С. 50-52.
10. **Водолазко, А.Н.** Загрязнение тяжелыми металлами почв земель сельскохозяйственного назначения южных районов Волгоградской области / **А.Н. Водолазко**, Е.А. Иванцова, Р.С. Рахманов // Экологическая безопасность и охрана окружающей среды в регионах России: теория и практика: материалы II всероссийской научно-практической конференции. – Волгоград, 2016. – С. 135-141.
  11. **Водолазко, А.Н.** Современный уровень плодородия каштановых и светло-каштановых почв сухостепной почвенной зоны Волгоградской области / **А.Н. Водолазко**, Д.А. Ясинский // Экологическая безопасность и охрана окружающей среды в регионах России: теория и практика: материалы II всероссийской научно-практической конференции. – Волгоград, 2016. – С. 512-515.
  12. **Водолазко, А.Н.** Тяжелые металлы в почве и снеговой воде земель сельскохозяйственного назначения Волгоградской области [Электронный ресурс] / **А.Н. Водолазко**, Е.А. Иванцова, О.В. Сухова // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования: материалы I международной научно-практической интернет-конференции, посвященной 25-летию ФГБНУ «Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия». – Соленое Займище, 2016. – С. 727-733.
  13. **Водолазко, А.Н.** Оценка балла плодородия почв на реперных участках сухостепной почвенной зоны Волгоградской области [Электронный ресурс] / **А.Н. Водолазко**, Е.А. Иванцова // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования: материалы II международной научно-практической интернет-конференция. – Соленое Займище, 2017. – С. 1108-1113.
  14. **Водолазко, А.Н.** Содержание радионуклидов Стронция-90 и Цезия-137 в пахотном слое каштановых почв сухостепной почвенной зоны Волгоградской области / **А.Н. Водолазко**, Е.А. Иванцова // Научно-

- практические пути повышения экологической устойчивости и социально-экономическое обеспечение сельскохозяйственного производства: материалы международной научно-практической конференции.– Солёное Займище, 2017. – С 129-132.
- 15.Иванцова, Е.А. Современные методы и подходы к качественной оценке почв в России и за рубежом [Электронный ресурс] / Е.А. Иванцова, **А.Н. Водолазко** // Итоги и перспективы развития агропромышленного комплекса: материалы международной научно-практической конференции. - Солёное Займище, 2018. – С. 170-177.
- 16.Иванцова, Е.А. Системная динамика техногенной интрузии: сценарии управления агробиоценозами / Е.А. Иванцова, В.В. Новочадов, **А.Н. Водолазко** //Антропогенная трансформация геопространства: природа, хозяйство, общество: материалы V международной научно-практической конференции. – Волгоград, 2019. – С. 262-267.
- 17.Феоктистова, Е.А. Доминанты и субдоминанты фитоценоза антропогенных интрузий в аридной зоне Юга России в зависимости от концентрации марганца в почве / Е.А. Феоктистова, А.А. Тихонова, **А.Н. Водолазко** //Антропогенная трансформация геопространства: природа, хозяйство, общество: материалы V международной научно-практической конференции. – Волгоград, 2019. – С. 306-310.