

*На правах рукописи*

**БАХМАТОВА Юлия Алексеевна**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ, ОЦЕНКА И ОПТИМИЗАЦИЯ СЕЛЕНОВОГО  
СТАТУСА ТЕРРИТОРИИ И НАСЕЛЕНИЯ  
АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность 03.02.08 – Экология

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание учёной степени кандидата  
биологических наук

**Москва – 2018**

Работа выполнена на кафедре химии и химической экологии Высшей школы естественных наук и технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (г. Архангельск)

**Научный руководитель:** **Попова Людмила Фёдоровна**  
доктор биологических наук, кандидат химических наук, профессор кафедры химии и химической экологии Высшей школы естественных наук и технологий ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова»

**Официальные оппоненты:** **Зачиняев Ярослав Василевич**  
доктор биологических наук, доктор химических наук, профессор кафедры социального и естественнонаучного образования Выборского филиала ФГБОУ ВПО «Российский государственный педагогический университет им. А.И.Герцена»

**Прожерина Надежда Александровна**  
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии популяций и сообществ федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова РАН

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петрозаводский государственный университет»

Защита состоится «22» марта 2018 г., в 16.00 часов на заседании Диссертационного Совета Д 212.203.38 при Российском университете дружбы народов по адресу: 115093, г. Москва, Подольское шоссе, д. 8/5, экологический факультет.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в научной библиотеке ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, на сайте [dissovet.rudn.ru](http://dissovet.rudn.ru)

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
кандидат биологических наук:

Е. А. Ванисова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования и степень ее разработанности.** Высокая биологическая значимость селена и его эссенциальность для организма человека определяют приоритетность оценки селенового статуса территорий в большинстве регионов России. Проблема дефицита селена в организме человека с каждым годом приобретает все большую актуальность, поскольку в разных социальных группах у 80% населения выявляется снижение обеспеченности селеном (Голубкина, 2002; Паршукова, 2008; Эндэнээ, 2015; Бурцева, 2017). Селен – эссенциальный (незаменимый) компонент рациона питания и необходимый для нормальной жизнедеятельности организма человека и животных микроэлемент (суточная доза от 50 до 100 мкг для взрослого населения) (Голубкина, 2002; Тутельян, 2002; Громова, 2007; Зуева, 2009; Вапиров, 2016; Цикуниб, 2016).

Селен поступает в организм человека по пищевой цепи: из почвы в растения, из растений – в организмы животных, а они, в свою очередь, служат источником селена для человека. Данная схема определяет уровень зависимости обеспеченности селеном животных и человека от геоэкологической характеристики почвы. В мире существуют биогеохимические провинции глубокого дефицита и токсических концентраций микроэлемента (Голубкина, 2006; Тутельян, 2002; Зуева, 2009; Маймонова, 2003; Rayman, 2006, Vanuelos, 2014; Jackson, 2008; Schrauzer, 2002; Ranville, 2011; Lenz, 2008).

Кроме того, имеются данные внутри региональных вариаций в селеновом статусе населения, и отмечается важность комплексного подхода к выявлению экологических рисков, связанных с неадекватным потреблением селена. Для этого учитывается как распределение микроэлемента в почве и в природных водах, так и уровни биоконцентрирования его различными видами растений (Голубкина, Папазян, 2006; Grobs, 2015; Синдеева, Голубкина, 2011).

Однако, на территории Архангельской области до настоящего времени не проводилось комплексных исследований по изучению особенностей распределения селена в компонентах экосистем – водах, почвах, растениях и животных, в продуктах питания и организме человека. Поэтому, системный подход к изучению данной проблемы на территории Архангельской области является актуальной как в экологии, так и в медицине (Березкина, 2011). Данный подход позволит разработать конкретные рекомендации по проведению целенаправленных мероприятий по оптимизации селенового статуса территории и населения Архангельской области.

**Цель и задачи исследования.** Цель исследования – создать систему оценки селенового статуса территории и населения Архангельской области для последующей разработки практических рекомендаций по повышению уровня содержания селена в организме человека.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

1) определить содержание селена в природных водах (морях, реках и озерах) Архангельской области и оценить вклад питьевой воды в обеспеченность селеном населения города Архангельска;

2) оценить содержание селена в почвах и растениях, определить селеновый статус почвенно-растительного покрова территории Архангельской области;

3) определить содержание селена в основных продуктах питания и оценить вклад различных групп продуктов в обеспечение селеном жителей города Архангельска;

4) установить уровень обеспеченности селеном взрослого населения города Архангельска;

5) экспериментально оценить агрохимический способ обогащения селеном овощных сельскохозяйственных культур, выращиваемых на приусадебных участках Архангельской области.

#### **Научная новизна работы.**

Впервые на территории Архангельской области проведены комплексные исследования по изучению селена в природных водах и биогеохимической цепи почва – растение. Проведено экологическое исследование системы почва – растение – животное, человек на территории Архангельской области.

Впервые выявлена зависимость селенодефицитных состояний от уровня содержания селена в окружающей среде и пищевых продуктах у лиц, постоянно проживающих на территории Архангельской области, что позволило определить риск развития селенозависимых заболеваний среди различных половозрастных групп населения.

Для оптимизации содержания селена в организме человека применен агрохимический способ обогащения селеном овощных сельскохозяйственных культур, выращиваемых на приусадебных участках Архангельской области.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы**

*Теоретическая значимость работы.*

Определен селеновый статус территории и населения Архангельской области;

Установлены количественные закономерности содержания, распределения и действия селена в системе почва-растение-животное (человек) с учетом биогеохимических условий региона.

Показано, что данный регион по уровню обеспеченности селеном находится на низком уровне, что чрезвычайно важно для осуществления импорта продуктов питания из других регионов России и других стран мира, богатых селеном.

Установленные показатели содержания селена в организме жителей Архангельской области может служить ориентиром для проведения профилактических мероприятий у различных групп жителей, и могут быть использованы в качестве регионального норматива.

В результате проведенных исследований выявлены оптимальные условия обогащения сельскохозяйственной продукции селеном посредством обработки их селенатом и натрия.

*Практическая значимость работы.*

Возможность использования результатов исследований для разработки практических рекомендаций по применению селеновых удобрений в сельском хозяйстве с целью повышения степени обогащения продукции селеном.

Возможность использования выводов, материалов и методов системного подхода, предложенных в работе, при проведении мониторинговых исследований и оценке селенового статуса территорий Крайнего Севера.

Использование материалов работы в лекционных курсах высшей школы естественных наук и технологий Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова; при написании учебных пособий и монографий.

#### **Методология и методы исследований.**

В основу методологии эколого-биологического исследования положены работы Голубкиной Н. А. (2002, 2006, 2010), Сидельниковой В. Д. (1999), Тутельяна В. А.

(2002), Гмошинского И. В. (1999), Ермакова В. В. (2008), Решетника Л. А. (2001), Скального А. В. (2010), Эндэнээ Э. (2015), Бурцевой Т. В. (2016), Пятницкой Т. В. (2011), Beck (2001), Behne (2006), Combs (2006), Dhillon (2005), Fordyce (2005), Johnson (2011), Salbe (1993), Wen (2007), Вапиров (2016), Цикуниб (2006, 2016).

При проведении работы было использовано три основные группы методов исследований: полевые – отбор проб воды, почв и растений, продуктов питания и биоматериалов, их пробоподготовка, закладка пробных площадей; лабораторные – химико-аналитические исследования проб вод, почв, растений, продуктов питания и биоматериалов; камеральные – обработка результатов анализов с применением статистического пакета обработки данных SPSS Statistics 21.

#### **Основные положения, выносимые на защиту.**

1) Составленные картограммы по содержанию селена в водах и почвах Архангельской области позволили выявить территории риска развития селендефицитных состояний у человека и животных.

2) Установлено, что исследуемые пробы морской воды и воды рек характеризуются средним, а воды озер низким содержанием селена. Большинство почв на территории Архангельской области по содержанию в них селена, относятся к почвам с маргинальной недостаточностью данного элемента. По интенсивности накопления селена почвенно-растительным покровом территорию Архангельской области можно отнести к зоне слабого накопления.

3) Установлены факторы риска, непосредственно влияющие на формирование селенового статуса у лиц, постоянно проживающих на территории Архангельской области: низкое содержание данного микроэлемента в питьевой воде и продуктах питания местного производства; недостаточное содержание селена в суточных рационах питания населения.

4) Выявлены условия оптимизации селенового статуса населения, путем агрохимического обогащения селенатом натрия овощных сельскохозяйственных культур, выращиваемых на приусадебных участках Архангельской области.

**Соответствие паспорта научной специальности.** Результаты проведенного исследования соответствуют области исследования специальности 03.02.08 – Экология, область исследования – экология человека.

**Личный вклад.** Автором с учетом рекомендаций руководителя сформулированы проблемы, поставлены цель и задачи работы, выбраны методы и объекты исследования. Непосредственно диссертантом осуществлен сбор полевых материалов и обработка полученных экспериментальных данных, обобщены и интерпретированы полученные результаты, подготовлены научные публикации.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Результаты исследований и обоснованность выводов основываются на большом количестве экспериментальных и теоретических данных, полученных с применением современных физико-химических методов с использованием стандартных и аттестованных методик.

Достоверность исследований определяется репрезентативным объемом групп наблюдений, использованием современных методов объективной оценки и верификации полученных научных результатов, а также применением современных методов статистической обработки данных.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались: на Всероссийской конференции с международным участием «Экология и геологические изменения в окружающей среде Северных регионов» (Архангельск, 2012); на

Международном семинаре с полевым выездом «Трансграничные водосборы: Финляндия и Россия – водосбор Белого моря» с экспедицией на Белое море и сессией для молодых ученых (Петрозаводск, 2013); на Всероссийской конференции с международным участием «Состояние арктических морей и территорий в условиях изменения климата» (Архангельск, 2014); на Межрегиональной общественной организации «Общество почвоведов им. В.В. Докучаева (Архангельск, 2014); на Международной научно-практической конференции «Отечественная наука в эпоху изменений: постулаты прошлого и теории нового времени» (Екатеринбург, 2015); на Международной научно-практической конференции «Стратегические вопросы мировой науки – 2016» (г. Белгород, 2016).

По материалам диссертации опубликовано 12 печатных работ, в том числе 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК (РИНЦ – 9).

Диссертация изложена на 133 страницах, содержит 22 таблицы, 20 рисунков, комплект из 3 карт и состоит из введения, 5 глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего 183 источника и 2 приложения.

### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обосновывается актуальность проведенных исследований, сформулированы цель и задачи, научная новизна и практическое значение.

**В главе 1. Биологическая роль селена и его содержание в природных объектах и организме человека** освещаются проблемы, связанные с предметом исследования. Глава включает обзор научной информации об обеспеченности селеном природных объектов и организма человека; проблемах экологического нормирования селена в почвах, водах, растениях и организме человека.

#### **Глава 2. Объекты и методы исследований.**

Архангельская область расположена на Восточно-Европейской равнине. На севере на протяжении 3 тыс. км область омывается водами Белого, Баренцева и Карского морей, относящихся к бассейну Северного Ледовитого океана. Площадь территории области составляет 587,4 тыс. км<sup>2</sup> (Васильев, 2006; Климат Архангельска, 1982).

Белое море представляет собой полузамкнутый водоем, имеющий на севере условную границу с Баренцевым морем по линии мыс Святой Нос – мыс Канин Нос. Геологическое строение Белого моря определяют формы берегов. Западные берега находятся на окраине Балтийского щита и сложены кристаллическими породами. Они слабо подвержены воздействию моря. Берега Кандалакшского залива и Поморский берег очень изрезаны и образуют бухты и губы с многочисленными скалистыми островками (Экология Архангельской области, 2004).

Воды суши в пределах Архангельской области представлены водами рек, озер, болот, ледников. Всего в Архангельской области около 72 тысяч рек и ручьев, 95% из них имеют протяженность менее 105 км. Реки имеют смешанное питание. Более 50% стока формируется талыми снежными водами, остальная часть – дождями и грунтовыми водами. На арктических островах в питании рек принимают участие талые ледниковые воды. Вместе с водой реки выносят растворенные в воде химические вещества.

Вода в большинстве озер пресная, малопрозрачная, желтовато-коричневого цвета, гидрокарбонатная. В карстовых районах озерная вода повышенной минерализации. Солёные озера встречаются в Пинежском районе и в городе Сольвычегодске (Миняев, 2002). Для населения Архангельской области реки и озера

служат одним из источников пресной воды. Северные воды славятся обилием разнообразной рыбы, которую население использует в пищу (Андреев, 1998).

Для почвенного покрова Архангельской области характерна ярко выраженная широтная зональность, обусловленная зональностью климата и растительности (<http://www.novrosen.ru/Russia/regions/arh.htm>). Четвертую часть почвенного покрова области составляют арктические и тундровые почвы, распространенные на архипелагах Земли Франца Иосифа и Новой Земли и по побережью Белого моря в Мезенском районе. Тундровые почвы сочетаются с глееподзолистыми и тундровыми торфяными почвами; имеются подзолы, пойменные почвы и засоленные маревые почвы (Яшин, 2015).

Растительность Архангельской области представлена различными сообществами от мхов до высокоствольных хвойных лесов. Растительность зоны тайги охватывает все остальные районы области. Преобладающий тип растительности – хвойные леса, занимающие около 83% территории. Наиболее распространены еловые и сосновые леса. Во всех растительных зонах области встречаются луга. Широко распространены пойменные и материковые луга. Травостой на лугах густой и богатый по видовому составу (Шмидт, 2005).

В Архангельской области сложился крупный многоотраслевой хозяйственный комплекс. Ведущие роли в промышленности Архангельской области играют отрасли специализации: лесная промышленность (лесозаготовительная, лесопильно-деревообрабатывающая, целлюлозно-бумажная), машиностроение (судостроение и судоремонт), рыбная промышленность, добыча алмазов, нефти и газа. Большая часть продукции отраслей вывозится за пределы области (География Европейского Севера..., 2002).

В качестве объектов исследования были выбраны природные объекты из 19 районов Архангельской области (рисунок 1).

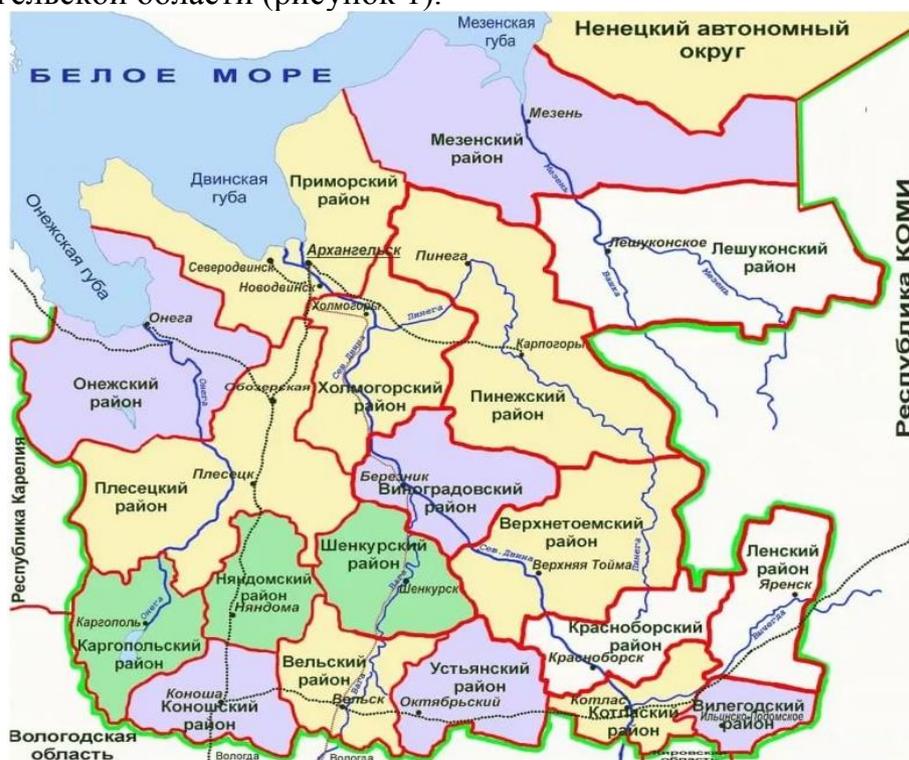


Рисунок 1 – Карта закладки пробных площадей на территории Архангельской области

В соответствии с ГОСТ 51592-2000 было отобрано 378 проб поверхностных вод рек и озер. В рамках совместной комплексной экспедиций «Плавучий университет» на НИС «Профессор Молчанов» в летний период 2012-2013 гг. в соответствии с ГОСТ 17.1.3.08 – 82, 17.1.5.05 – 85 и ГОСТ 51592-2000 были взяты 60 проб морской воды Белого моря.

Питьевая вода отбиралась, как в районах водозабора в реке Северная Двина ( $n = 30$ ), так и на выходе из распределительных сетей (непосредственно в квартирах) в различных округах города ( $n = 113$ ). Отбор, транспортировка и хранение проб питьевой воды осуществляли согласно ГОСТ 51592-2000. Учитывая тот факт, что население все чаще подвергает водопроводную воду дополнительной очистке, определялась степень потери селена в процессе использования наиболее распространённых бытовых фильтров: «Барьер» Эко, «Барьер» СОМРАСТ, «Гейзер» ГРИФОН, «Новая вода». В связи с тем, что многие жители используют бутилированную питьевую воду, продаваемую в магазинах города Архангельска, были проанализированы наиболее часто используемые марки воды: «Вельская», «НаЕда», «Аква Минерале», «Кнежица», «Сенежская».

Природные почвы (420 проб) были отобраны на лугах и в лесах Архангельской области, согласно ГОСТ 17.4.4.02-84. Для определения концентрации селена в растениях, пробы растительных образцов отбирались на тех же пробных площадях, что и почвы. Отбор, транспортировка и хранения проб растений осуществляли согласно ГОСТ 27262-87.

Для анализа отбирали пробы продуктов питания, которые пользуются большим спросом и популярностью у жителей г. Архангельска. Предпочтения были отданы продуктам, произведенным на территории Архангельской области и наиболее часто встречающимся в торговых сетях, с учетом потребительской корзины ( $n = 203$ ). Отбор, транспортировка и хранение проб хлеба и хлебобулочных изделий осуществляли по ГОСТ 5667-65, мяса – по ГОСТ 7269-79, круп – по ГОСТ 26312. 1-84, молока и молочных продуктов – по ГОСТ 3622-68, рыбы, морских млекопитающих, морских беспозвоночных и продуктов их переработки – по ГОСТ 7631-2008.

Для изучения половозрастной динамики были отобраны образцы сыворотки крови у 90 мужчин, среди которых 30 человек в возрасте до 30 лет, 30 человек от 30 – 50 лет, и 30 мужчин старше 50 лет и 90 женщин по тем же возрастным группам. Отбор проб крови осуществлялся совместно с Центральной научно-исследовательской лабораторией Северного государственного медицинского университета.

Определение содержания селена во всех отобранных образцах проводили флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «02-2М», согласно МУК 4.1.033-95 на базе лаборатории биогеохимических исследований кафедры химии и химической экологии Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.

Кроме того для всех проб почв были определены гранулометрический состав – методом отмучивания (Ващенко, 1982), и рН водной вытяжки (ГОСТ 26423-85).

Для изучения влияния накопления селена сельскохозяйственными культурами при обработке их селенатом натрия был поставлен полевой эксперимент. Его проводили на опытном участке (торфяная почва) в деревне Чуболо-Наволоки (Архангельская область, Приморский район), расположенной в пойме реки Северная Двина. Участок площадью 1,4 м<sup>2</sup> был разделен на три опытные делянки. Закладку опытов, наблюдения, учеты и анализы проводили общепринятыми методиками

(Доспехов, 1985). Материалом для исследования послужили сельскохозяйственные культуры: редис «Алешка» (*Radicula*), салат кочанный «Айсберг» (*Acetaria*), петрушка «Корневая сладкая» (надземная и подземная части) (*Petroselinum*), лук «Штутгартен ризен» (подземная и надземная части) (*Bulbus*). Культуры выращивали с использованием двух методов обогащения их селеном:

а) опрыскивание культур раствором селената натрия. За две недели до сбора урожая (первая делянка) растения однократно опрыскивали раствором селената натрия, исходя из расчета 3 г Se/га почвы;

б) внесением раствора селената натрия в почву. На второй опытной делянке в период начала роста растений в почву вносили раствор селената натрия, исходя из расчета 3 г Se/га почвы.

Третья делянка – фоновая. Обработку растений и почвы на ней проводили дистиллированной водой.

Для оценки влияния селената натрия на агрохимические показатели почв пробы почв были отобраны до и после эксперимента. В этих пробах определяли: содержание селена (МУК 4.1.033-95); гранулометрический состав общепринятой методикой (Ващенко, 1982); актуальную кислотность ( $pH_{вод}$ ), обусловленную содержанием в почвенном растворе свободных ионов  $H^+$  и  $OH^-$ , и обменную кислотность ( $pH_{сол}$ ), обусловленную наличием поглощенных твердой фазой почвы ионов  $H^+$  и  $Al^{3+}$ , потенциметрическим методом из водной и солевой (0,1 н KCl) вытяжек согласно ГОСТ 26423-85 и 26483-85, соответственно; содержание органического вещества (ГОСТ 26213-91); содержание подвижных форм калия ( $K_2O$ ) (ГОСТ 54650-2011) и нитратного азота ( $N-NO_3^-$ ) (ГОСТ 26951-86) методом прямой потенциометрии; содержание фосфора ( $P_2O_5$ ) (метод Кирсанова в модификации ЦИНАО согласно ГОСТ 26207-91) и аммонийного азота ( $N-NH_4^+$ ) по ГОСТ 26489-85 фотометрическими методами.

Степень потери селена в процессе использования бытовых фильтров, рассчитывалась:

$$\text{Потеря Se, \%} = \frac{Se_{исх} - Se_i}{Se_i} \cdot 100\%$$

$Se_{исх}$  – содержание селена в реке Северная Двина (в районе забора воды), мкг/л;  
 $Se_i$  – содержание селена в водопроводной воде, отобранной в разных округах города, мкг/л.

Для оценки количества поступающего в организм человека селена с продуктами питания был произведен расчет количества селена в организме человека, употребляющего объемы продуктов питания, рекомендованные Министерством здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 02.08.2010 г. № 593 н (Рекомендации по рациональным нормам..., 2010).

Расчет производился по формуле:

$$X = \frac{C_{Se} \cdot m}{1000},$$

где X – количество селена, поступающего в организм человека в сутки;

$C_{Se}$  – содержание селена в продукте, мкг/кг; m – масса потребления продукта в сутки, г.

Для получения представления о вкладе того или иного продукта питания в поступление селена в организм человека необходимо внедрение некоторого коэффициента, который отражает поступление селена в организм человека относительно физиологически необходимого значения. Расчет проводился относительно минимального значения суточной потребности в элементе по формуле:

$$K, \% = \frac{\text{ФП}}{\text{ОП}} \cdot 100\%,$$

где ФП – фактическое поступление селена (55 мкг/сутки); ОП – общее поступление селена в организм человека (61,96 мкг/сутки).

Кроме того для оценки потребления селена рассчитывали поступление селена в организм человека при различных рационах питания. Расчет производился по формуле:

$$X = \frac{m_{\text{общ}} \cdot m\%}{1000} \cdot C_{\text{Se}},$$

где X - поступление селена в организм человека, мкг;  $m_{\text{общ}}$  – общая масса продуктов, г;  $m\%$  - суточное содержание продукта от общего объема, %;  $C_{\text{Se}}$  – содержание селена в продукте, мкг/кг.

Для изучения влияния накопления селена сельскохозяйственными культурам после обработки их раствором селената натрия рассчитывалась степень обогащения их селеном:

$$\text{Степень обогащения} = \frac{C_{\text{Se2}}}{C_{\text{Se1}}}.$$

где  $C_{\text{Se1}}$  – концентрация селена в культуре до обработки селенатом натрия;

$C_{\text{Se2}}$  – концентрация селена в культуре после обработки селенатом натрия.

Для исследования структуры взаимосвязей изучаемых параметров использовали корреляционный анализ. Все полученные экспериментальные данные были статистически обработаны общепринятыми методами при помощи пакета программ Microsoft Excel 10,0 и статистического пакета обработки данных SPSS Statistics 21. Тип распределения для выборок определяли с помощью критерия Шапиро-Уилка. Для описания количественных данных, имеющих нормальное распределение, использовали среднее арифметическое (M). Параметры с ненормальным распределением представляли как медиану (Me). Достоверность различий изучаемых параметров анализировали с применением критериев Фишера-Стьюдента и Манна-Уитни: за достоверные принимали различия при значениях  $< 0,05$ . Для определения тесноты и достоверности связи между параметрами применяли критерий корреляции Спирмена.

### **Глава 3. Содержание селена в объектах окружающей среды**

#### *3.1 Оценка содержания селена в природных водах на территории Архангельской области*

Содержание селена в водах Белого моря. Полученные экспериментальные данные показали отсутствие заметной пространственной изменчивости содержания селена в поверхностном слое вод Белого моря. Все исследованные пробы характеризуются средним ( $0,33 \pm 0,03$  —  $0,49 \pm 0,05$  мкг/л) содержанием данного элемента. Только в одной из точек отбора средняя концентрация селена в воде ( $0,68 \pm 0,04$  мкг/л) была превышена в 2 раза, что может быть связано с близостью города Беломорска.

По полученным экспериментальным данным был построен профиль вертикального распределения селена на стандартном океанологическом разрезе «м. Инцы — р. Пулоньга». Анализ этих данных указывает на то, что вертикальное распределение селена в водах Белого моря характеризуется значительными градиентами (рисунок 2).

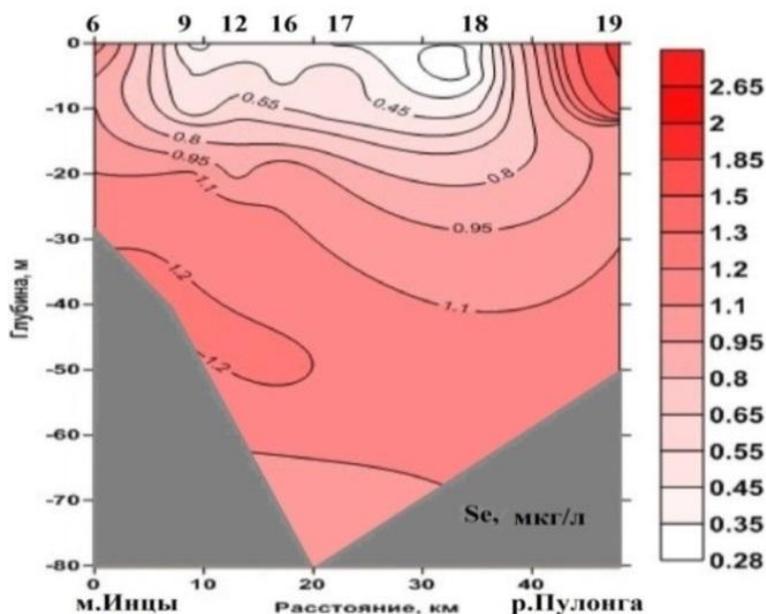


Рисунок 2 — Распределение селена в водах Белого моря на разрезе «м. Инцы — р. Пулоньга»

Содержание селена в поверхностных водах рек и озер. Содержание селена в большинстве рек находится в пределах  $0,70 \pm 0,03 - 3,48 \pm 0,03$  мкг/л, что не превышает ПДК (10 мкг/л). Только воды рек Соломбалка ( $10,12 \pm 0,03$  мкг/л), Кехта ( $9,77 \pm 0,04$  мкг/л) и Брусовица ( $9,35 \pm 0,29$  мкг/л) содержат селен на уровне предельно допустимой концентрации. Данное превышение можно объяснить тем, что реки протекают по территории Приморского района и Соломбальского округа города Архангельска, где хорошо развита инфраструктура, большое количество предприятий, густая сеть автомобильных дорог и наличие аэропорта «Талаги».

Содержание селена в водах озер находится в интервале концентраций  $0,42 \pm 0,02 - 2,09 \pm 0,05$  мкг/л. Озера, находящиеся в одном и том же районе Архангельской области имеют близкие концентрации селена. Содержание селена в пробах воды, отобранных в озерах сельской местности, оказалось несколько ниже, чем в пробах из городских водных объектов. Так, например в Коношском и Приморском районах, где главные отрасли – это железнодорожный транспорт и лесозаготовка, концентрация селена в озерах сразу же возрастает почти в 3 раза, по сравнению с Каргопольским районом, и в 2 раза по сравнению с Холмогорским районом. На содержание селена в водных объектах могут оказывать влияние и близко проходящие автомобильные дороги. Влияние автотрассы можно отметить в Холмогорском районе. Так, содержание селена в пробах воды, отобранных в озере Плоское, в 3 раза выше, чем концентрация селена в пробах, отобранных из других озер данного района.

Статистический анализ экспериментальных данных показал, что среднее содержание селена в водах озер ( $M_e = 1,18$  мкг/л) несколько ниже, чем в водах рек ( $M_e = 1,59$  мкг/л), ( $U = 1038$ ,  $p = 0,01$ ), что может быть связано с различием в питании рек и озер.

Для оценки экологического состояния природных вод рек и озер, использовалась предложенная нами шкала экологического нормирования содержания селена в пресных материковых водах (таблица 1 и рисунок 3).

Таблица 1 – распределение пробных площадей по уровню содержания и загрязнения вод рек и озер, % проб

Объекты исследования	Уровни содержания и загрязнения				
	очень низкий 0,2 – 0,5 мкг/л	низкий 0,5 – 1,5 мкг/л	средний 1,5 – 3,3 мкг/л	высокий 3,3 – 10 мкг/л	загрязнение ≥10мкг/л
Воды озер	5,6	66,1	28,3	0	0
Воды рек	0	43,8	49,1	5,4	1,7

Установлено, что содержание селена в водах озер колеблется от очень низкого до среднего уровня содержания селена.

Рек Архангельской области с очень низким содержанием селена в воде, не наблюдается. Преобладают пробы с низким и средним уровнем содержания селена. В 5,4% случаев выявлен высокий уровень содержания селена и одна проба была загрязнена данным поллютантом.

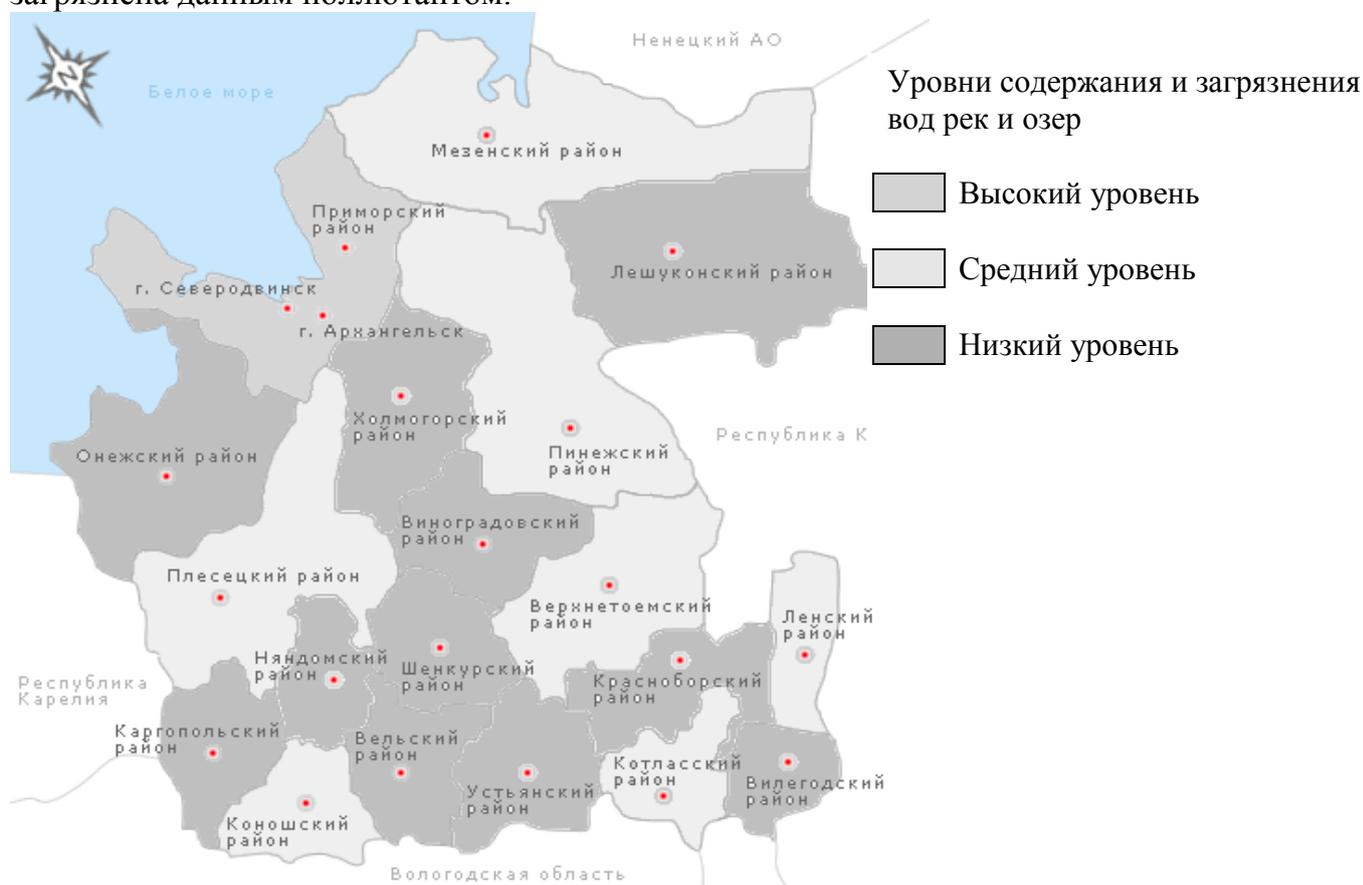


Рисунок 3 – Картограмма распределения селена в поверхностных водах (реки и озера) на территории Архангельской области

По данным Ферсмана (1985) следует, то концентрация селена в поверхностных и подземных водах зависит от концентрации данного элемента в почве, с которой граничит данный водный объект. Данный факт на территории Архангельской области был подтвержден статистическим анализом (коэффициент корреляции Спирмена  $r_s = 0,92$ ) (рисунок 4).

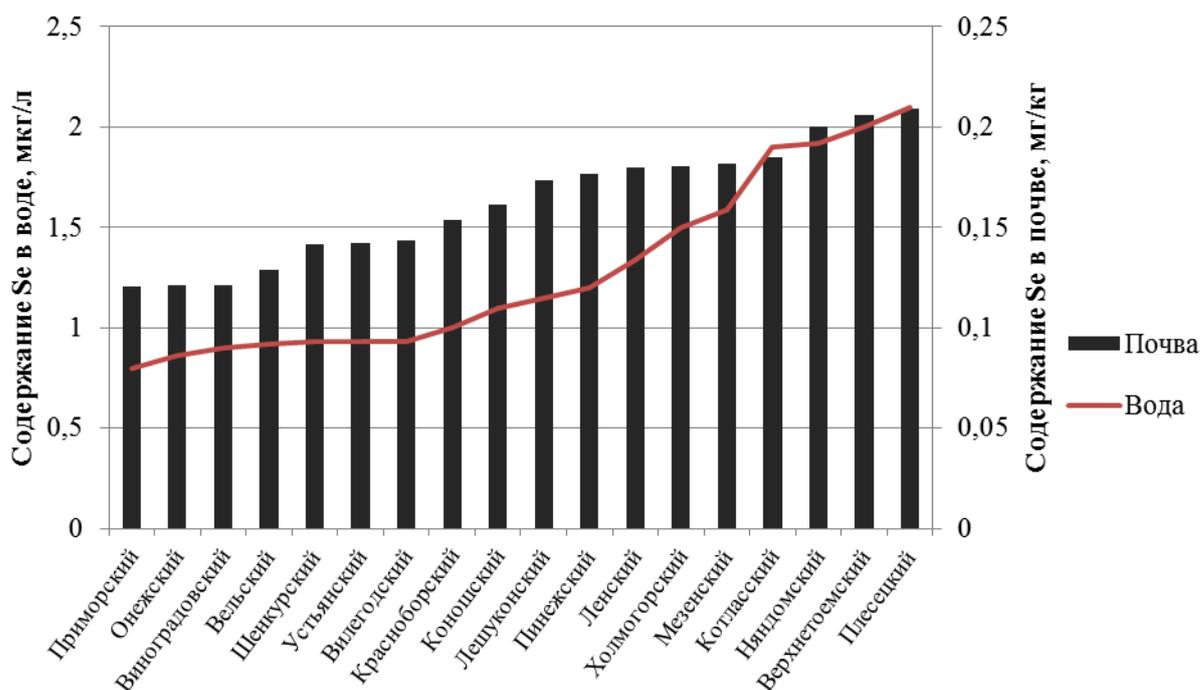


Рисунок 4 – Зависимость содержания селена в воде от содержания его в почвах

Таким образом, природные воды на рассматриваемой территории отличаются низким и средним содержанием селена, что может служить индикатором наличия в почвах незначительной доли биодоступных форм селена (Евдокимова и др., 2012, 2013, 2016).

Содержание селена в питьевой воде. Известно, что основной объем питьевой воды поступает в город Архангельск из реки Северная Двина. Перед поступлением в распределительные сети вода проходит обработку на очистных станциях МУП «ВОДОКАНАЛ».

Анализ экспериментальных данных показал, что среднее содержание селена в поверхностных водах, в местах водозабора из реки Северная Двина, составило  $5,05 \pm 0,22$  мкг/л. Данное содержание селена не превышает ПДК (10 мкг/л) (СанПин 2.1.4.1074-01, 2002), но оно значительно выше, чем в других водных объектах Архангельской области. Это обусловлено как геолого-химическими особенностями региона, так и антропогенными факторами. В процессе подготовки воды на очистных станциях и при прохождении ее по распределительной системе происходит значительное снижение содержания данного элемента в среднем до  $0,21 \pm 0,06$  мкг/л.

Учитывая тот факт, что население все чаще подвергает водопроводную воду дополнительной очистке, определялась степень потери селена в процессе использования бытовых фильтров: Представленные данные (таблица 2) свидетельствуют о том, что бытовые фильтры еще в 1,5 раза снижают содержание селена в водопроводной воде.

Таблица 2 – Содержание селена в водопроводной воде до и после фильтрации

Марка фильтра	Содержание Se, мкг/л	
	до фильтрации	после фильтрации
Кувшин «Барьер» ЭКО	$0,26 \pm 0,09^*$	$0,16 \pm 0,03$
	$0,25 - 0,28^{**}$	$0,15 - 0,16$

Кувшин «Барьер» СОМРАСТ	$0,27 \pm 0,14$ 0,25 – 0,30	$0,19 \pm 0,07$ 0,18 – 0,20
Кувшин «Аквафор» ЛАЙН	$0,32 \pm 0,14$ 0,30 – 0,35	$0,19 \pm 0,07$ 0,18 – 0,20
Кувшин «Гейзер» ГРИФОН	$0,18 \pm 0,07$ 0,17 – 0,19	$0,11 \pm 0,03$ 0,10 – 0,11
Насадка «Новая вода»	$0,32 \pm 0,14$ 0,30 – 0,33	$0,14 \pm 0,10$ 0,12 – 0,15

\* – в числителе – среднее значение содержание Se; в знаменателе – минимальное и максимальное значение содержание Se.

Многие жители Архангельска используют бутилированную питьевую воду, продаваемую в магазинах города. В связи с этим нами были проанализированы наиболее часто используемые марки бутилированной воды (рисунок 5) и установлено, что содержание селена в такой воде колеблется от 0,11 мкг/л до 3,83 мкг/л. Наиболее богаты селеном воды «STELMAS» (негазированная), «Вельская» и «Аква Минерале». Это может быть связано как с процессом водоподготовки, так и с происхождением данных вод. Таким образом, бутилированная вода (за исключением воды марки «НаЕда») отличается более высоким содержанием селена, чем водопроводная вода (Евдокимова и др. 2015).

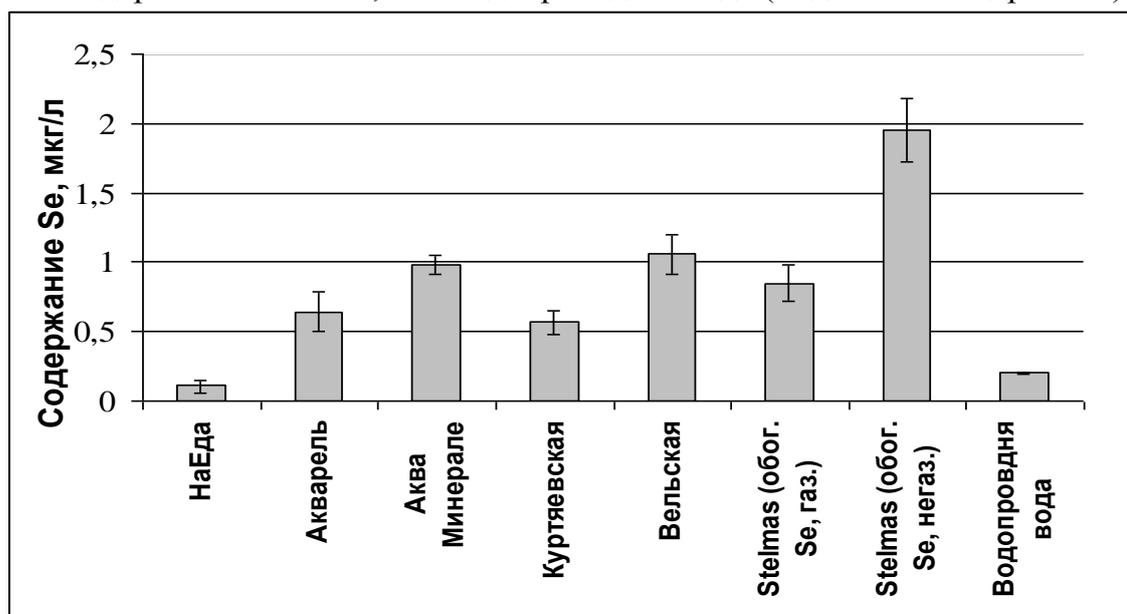


Рисунок 5 – Содержание селена в питьевой бутилированной воде

Для оценки роли питьевой воды в снабжении человеческого организма селеном необходимо рассчитать поступление этого микроэлемента в организм человека с питьевой водой. Известно, что необходимое суточное потребление воды колеблется от 2,55 до 3,00 л/сутки (Губергриц, Линеvский, 1989), при этом потребление собственно питьевой воды в виде жидкости составляет в среднем 47% от общей суточной нормы, что соответствует 1,2 – 1,5 л так называемой «свободной жидкости». Этот объем был принят нами за значение потребления воды среднестатистическим человеком для расчета фактического поступления данного элемента в организм. Чтобы получить представление о вкладе воды в поступление селена в организм человека, необходимо отнести фактическое поступление (ФП) этого элемента к физиологически необходимому количеству (ФН) (таблица 3).

Таблица 3 – Количество селена, поступающее в организм человека с водой

Вода, используемая населением города	Фактическое поступление (ФП), мкг/сутки	Физиологически необходимое поступление (ФН), мкг/сутки	К, %
Вода из распределительных сетей г. Архангельска	0,49	60	0,82
Фильтрованная питьевая вода	0,23		0,40
Бутилированная вода	1,29		2,15

3.2 Содержание селена в почвах Архангельской области. Для оценки содержания селена в почвах Архангельской области (рисунок 6) использовали шкалу нормирования, разработанную Национальным комитетом США (J. Tan et al, 2002).

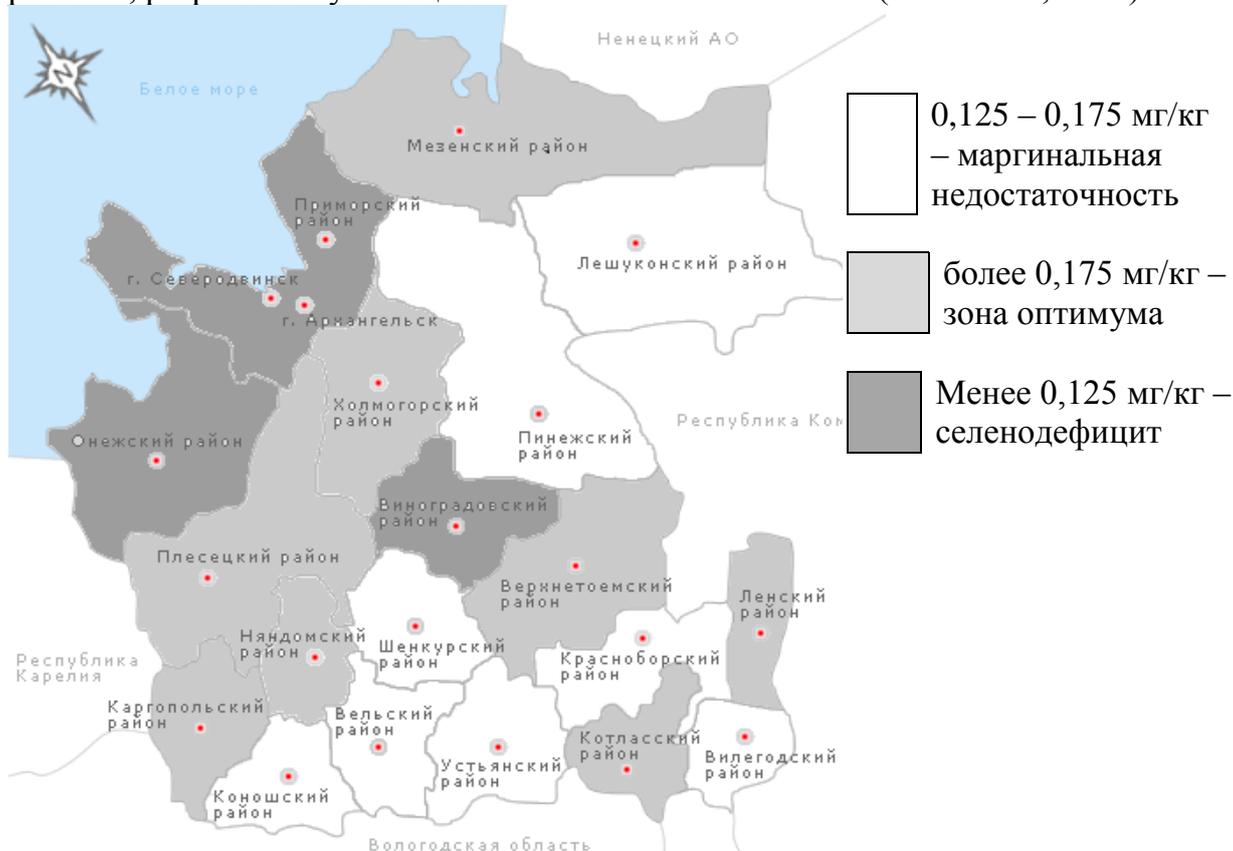


Рисунок 6 – Картограмма распределения селена в почвах Архангельской области

Картограмма по распределению селена показывает мозаичный характер распределения селена в пределах Архангельской области, что может быть связано с разной биогеохимической характеристикой регионов, а также разной антропогенной нагрузкой.

Содержание селена в естественных лесных почвах колеблется от 0,11 мг/кг до 0,27 мг/кг, в луговых от 0,13 мг/кг до 0,25 мг/кг. Установлено, что содержание данного элемента в почвах увеличивается в следующей последовательности:

дерново-подзолистые –  $0,1588 \pm 0,0026$  мг/кг, подзолистые –  $0,1740 \pm 0,0043$  мг/кг, дерновые –  $0,2141 \pm 0,0059$  мг/кг.

Статистический анализ данных показал, что в лесных и луговых подзолистых почвах содержание селена с глубиной увеличивается ( $Z$  критерий Вилкоксона =  $-12,17$ ,  $p < 0,05$ ). Данное увеличение может быть связано с повышенной кислотностью поверхностного слоя почв (рН: 0 – 5 см –  $\bar{X} = 5,40$ ; 5 – 20 см –  $\bar{X} = 6,03$ ).

На повышение концентрации селена в почвенных горизонтах может влиять и утяжеление гранулометрического состава почв ( $r_s = 0,75$ ,  $p < 0,05$ ), что наблюдается практически во всех почвах области (рисунок 7). Это обусловлено тем, что глинистые компоненты почвы обладают хорошей сорбционной способностью по отношению к селену (Добровольский, 2003).

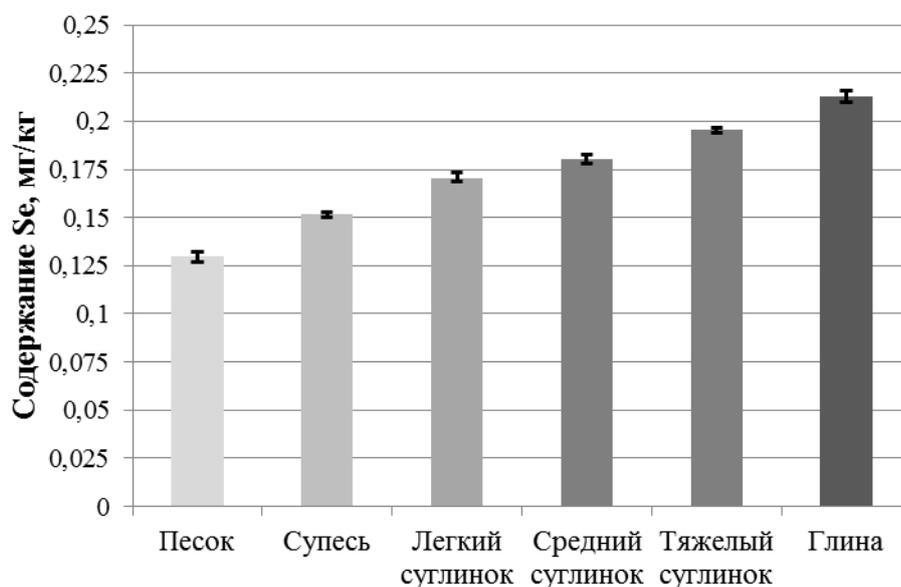


Рисунок 7 – Зависимость содержания селена от гранулометрического состава почв (горизонт 0 – 20 см)

Таким образом, в почвах Архангельской области не обнаружено критически высоких (1,5 мг/кг) и критически низких (0,1 мг/кг) концентраций селена. Количество селена в почвах в основном находится в пределах биогеохимической нормы – 0,2–0,7 мг/кг, однако в большинстве районов возможно пониженное содержание селена в растительной продукции.

**3.3 Аккумуляция селена растениями.** Как указывалось выше, содержание селена в почвах различных районов Архангельской области неодинаково. Эти же различия в содержании селена присутствуют и в образцах растений (разнотравье), собранных в различных районах области. Так, содержание селена в растениях колеблется от  $0,0271 \pm 0,0001$  мг/кг до  $0,0456 \pm 0,0014$  мг/кг, при этом минимальная концентрация селена наблюдается в растениях, собранных в Приморском районе, а максимальная – в растениях, собранных в Каргопольском районе, что соответствует содержанию селена в почвах на данных территориях. В целом, растения накапливают селена до 4-х раз меньше, чем его содержится в почве.

По интенсивности накопления селена почвенно-растительным покровом, территорию Архангельской области можно отнести к зоне слабого накопления, что

подтверждает коэффициент биологического накопления (0,19 – 0,22). Проведенные статистические исследования позволяют сделать вывод о ведущей роли влияния состава почвы и поверхностных вод на накопление селена растениями. Доказано, что с увеличением валового содержания селена в почвах, увеличивается его содержание в растениях (рисунок 8). Установлено, что содержание селена в растениях Архангельской области определяется рН почвы, на которой они произрастали (рисунок 9).

Таким образом, территорию Архангельской области можно отнести к территории с низким и средним уровнем содержания селена в объектах окружающей среды. Не исключено, что в районах, где выявлен существенный дефицит селена в биосфере, может быть обнаружен дефицит селена и у населения.

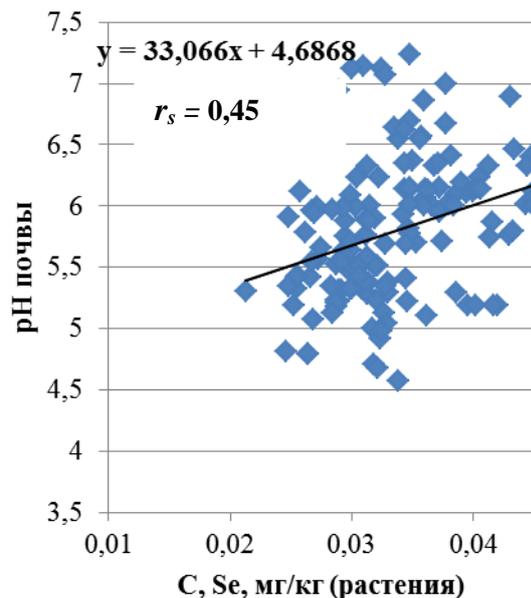
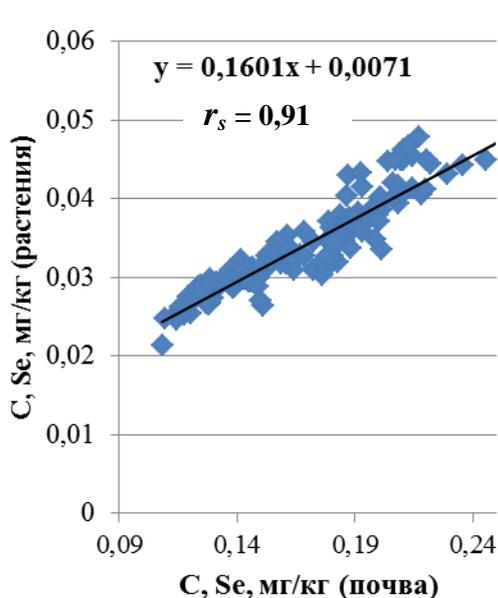


Рисунок 8 – Зависимость между содержанием селена в растениях и содержанием его в почве

Рисунок 9 – Зависимость между содержанием селена в растениях и рН почв

#### Глава 4. Содержание селена в продуктах питания и селеновый статус населения города Архангельска

4.1 *Содержание селена в основных продуктах, потребляемых населением города Архангельска.* Содержание селена в исследованных продуктах питания увеличивается в следующей последовательности: фрукты ( $3,74 \pm 1,92$  мкг/мг) → овощи ( $3,98 \pm 3,19$  мкг/мг) → ягоды ( $5,44 \pm 2,02$  мкг/мг) → грибы ( $7,34 \pm 2,43$  мкг/мг) → яйца ( $12,81 \pm 0,12$  мкг/мг) → хлебные продукты и макаронные изделия ( $25,75 \pm 12,75$  мкг/мг) → рыбопродукты ( $46,18 \pm 16,44$  мкг/мг) → мясопродукты ( $53,58 \pm 20,76$  мкг/мг) → молоко и молочные продукты ( $163,68 \pm 85,02$  мкг/мг). Ни в одном из продуктов питания не обнаружено превышение ПДК (500 мкг/кг).

Сравнение найденных показателей с отдельными результатами оценки содержания селена в продуктах питания разных регионов России (Голубкина, 2006) указывает на низкий уровень содержания его в Архангельской области. Данные отличия обоснованы различным содержанием селена в объектах окружающей среды регионов России и Архангельской области.

В то же время внутри определенных групп продуктов питания содержание селена может значительно различаться. Так, например, среди мясных продуктов наибольшее содержание селена обнаружено в свинине ( $125,92 \pm 0,37$  мкг/мг), среди

рыбных – в камбале ( $103,21 \pm 0,15$  мкг/мг), среди молочных – в твороге ( $151,67 \pm 0,72$  мкг/мг), среди овощей – в чесноке ( $19,64 \pm 0,25$  мкг/мг), среди фруктов – в банане ( $8,97 \pm 0,30$  мкг/мг), среди ягод – в чернике ( $12,42 \pm 0,07$  мкг/мг) и клюкве ( $10,15 \pm 0,13$  мкг/мг), среди круп – в рисе ( $91,83 \pm 0,72$  мкг/мг).

По полученным данным, Архангельскую область по содержанию селена в продуктах питания можно отнести к регионам с относительно низким содержанием данного микроэлемента по сравнению со среднемировыми показателями и по сравнению с регионами России (Ермаков, 1999).

*4.2 Потребление селена с пищевыми продуктами, входящими в рацион питания жителей города Архангельска.* Установление количества селена поступающего с пищей – один из способов оценки содержания селена в организме человека.

Чтобы оценить вклад каждой из групп продуктов питания в обеспечение селеном, было рассчитано поступление этого микроэлемента в организм человека с пищевыми продуктами. Полученные данные показали, что фактическое ( $61,96 - 64,43$  мкг/сутки) потребление селена ниже физиологически необходимого для мужчин ( $70$  мкг/сутки), и достаточное для женщин ( $55$  мкг/сутки).

Чтобы получить представление о вкладе того или иного продукта питания в поступление селена в организм человека, необходимо отнести фактическое поступление (ФП) этого элемента к общему поступлению селена (ОП) в организм (рисунок 10).

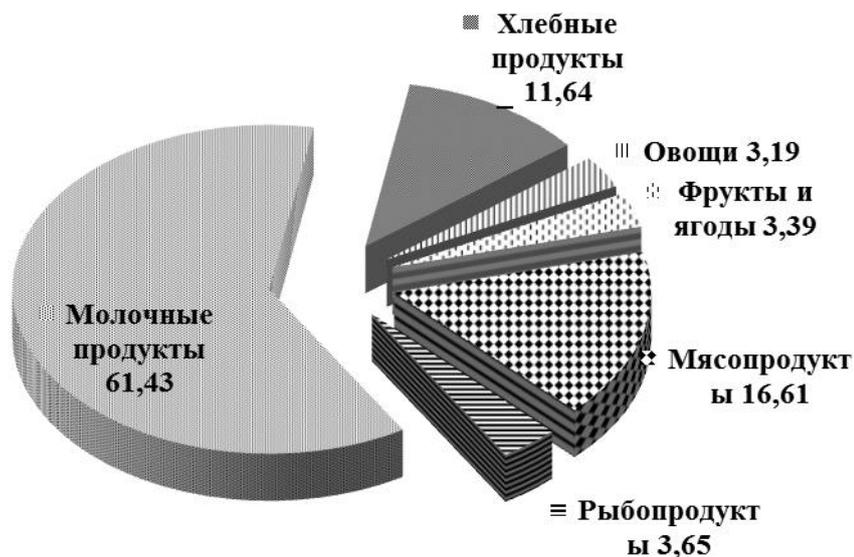


Рисунок 10 – Вклад различных продуктов питания в потребление селена жителями города Архангельска, %

Из рассчитанных экспериментальных данных видно, что наибольший вклад в обеспечение селеном жителей города Архангельска вносят молоко и молочные продукты (61,43 %). Вместе с тем, чтобы получать суточную норму данного микроэлемента, необходимо обратить внимание на нормированное потребление хлебных и мясопродуктов.

Распространённость селенодефицитного состояния можно объяснить недостаточным содержанием селена в суточных рационах питания населения города Архангельска. Средние величины потребления селена с рационами составили: для 1 рациона (соответствующий минимальному уровню дохода) –  $45,40$  мкг/сутки, для 2 рациона (соответствующий более высокому уровню дохода) –  $55,97$  мкг/сутки,

для 3 рациона (соответствующей питанию детей школьного возраста) – 104,81 мкг/сутки (Бахматова, 2015).

4.3 *Обеспеченность селеном взрослого населения города Архангельска.* Определение уровня содержания селена в сыворотке крови еще один из способов оценки содержания селена в организме человека. Этот способ позволяет оценить среднюю величину поступления селена с пищей за период от нескольких дней до нескольких недель. Показатель характеризует общее содержание активных форм селена (ферментов, селенопереносящего белка) и депонированного селена (Тутельян, 2002).

Средняя концентрация селена в сыворотке крови мужчин и женщин разных возрастных групп составила 63,97 мкг/л (таблица 4), при этом статистический анализ данных показал, что среднее содержание селена в сыворотке крови женщин ( $M_e = 60,85$  мкг/л) несколько ниже, чем у мужчин (67,09 мкг/л), ( $U = 908$ ,  $p < 0,05$ ).

Таблица 4 – Содержание селена в сыворотке крови, мкг/л, населения г. Архангельска в зависимости от возраста и пола

Возрастная группа	Мужчины			Женщины			Всего		
	n	x	±SD	n	x	±SD	n	x	±SD
до 30 лет	30	80,49	5,22	30	54,74	2,93	60	67,61	13,64
от 30 до 50 лет	30	65,86	3,40	30	55,07	3,49	60	60,47	6,42
старше 50 лет	30	54,91	3,04	30	72,73	3,40	60	63,83	9,54
<b>Всего</b>	<b>90</b>	<b>67,09</b>	<b>11,25</b>	<b>90</b>	<b>60,85</b>	<b>9,05</b>	<b>180</b>	<b>63,97</b>	<b>9,57</b>

Содержание селена в сыворотке крови женщин города Архангельска увеличивается с возрастом. Так, у женщин старше 50 лет среднее содержание селена в сыворотке крови (72,73 мкг/л), по сравнению с женщинами до 50 лет (54,91 мкг/л) выше ( $t = -20,987$ ,  $p < 0,05$ ). Ситуация по содержанию селена в организме мужчин иная. Среднее содержание селена у лиц до 30 лет (80,49 мкг/л) выше, чем у мужчин от 30 до 50 лет (65,86 мкг/л), ( $t = 12,420$ ,  $p < 0,05$ ) и старше 50 лет (54,91 мкг/л) ( $t = 25,080$ ,  $p < 0,05$ ).

На основе полученных данных нами было установлено частотное распространение уровня селена в организме человека в зависимости от возраста и пола обследованных (рисунок 11).

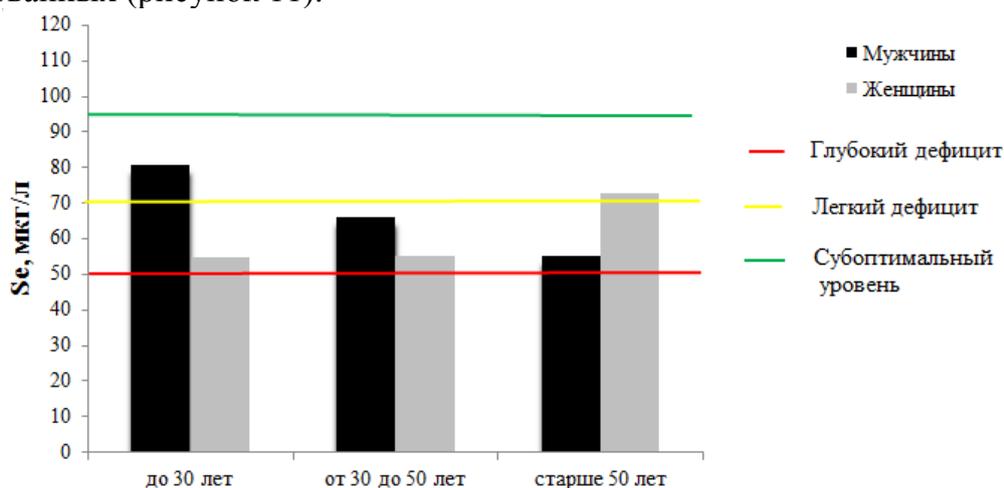


Рисунок 11 – Уровни содержания селена в сыворотки крови различных групп населения города Архангельска

В целом, анализ индивидуальных показателей сывороточного селена выявил, что 4,4 % женщин имеют тяжелую степень недостаточности селена, 68,9 % – легкую

степень недостаточности селена и 26,7 % – субоптимальный уровень. Среди мужчин не выявлено тяжелой степени недостаточности, 61,1 % имеют легкую недостаточность селена и 38,9 % находятся в зоне субоптимального уровня. Большинство жителей города Архангельска имеют риск развития селенодефицита. Очевидно, что у женщин риск селенодефицита уменьшается с возрастом, а у мужчин, наоборот, с возрастом риск увеличивается (Евдокимова, 2012).

**Глава 5. Агрехимический способ обогащения селеном сельскохозяйственных культур.** Главным источником поступления селена в организм животного и человека служит растительное сырье (Скрыпник, 2009). В связи с этим на базе лаборатории биогехимических исследований САФУ был поставлен полевой опыт (модельный эксперимент) по изучению влияния обработки сельскохозяйственных культур селенатом натрия на накопление в них селена и изменение агрехимических показателей почв.

По результатам проведенного модельного эксперимента содержание селена в контрольных образцах сельскохозяйственных культур растений находится в интервале  $4,03 \pm 0,19 - 13,44 \pm 0,15$  мкг/кг в зависимости от вида и органа растений, что не только не превышает значения ПДК<sub>Se</sub>, но и находится на очень низком уровне. Это указывает на необходимость обогащения данных сельскохозяйственных культур селеном, для обеспечения потребности организма человека нужным количеством данного элемента.

Для исследования аккумулирующей способности растительных культур, выращенных на контрольной почве, был определен коэффициент биогехимического накопления селена КБН (0,033–0,137). Анализ образцов сельскохозяйственных культур по накоплению в них селена подтверждает тот факт, что большинство сельскохозяйственных культур по способности накапливать и усваивать селен относятся к третьей группе растений (группа растений, которые обычно накапливают селена в 1 – 2 раза меньше, чем его содержится в почве). Установлено, что наиболее высокой аккумулирующей способностью отличаются лук, петрушка (подземная часть) и редис. В меньшей степени селен накапливают зелень петрушки и листья салата.

Результаты исследования показали, что при использовании I метода обогащения (опрыскивание) растений селеном наибольшее его количество накапливают листья салата (степень обогащения – CO = 7,3). Это может быть связано, с тем, что площадь поверхности листьев салата намного больше и, следовательно, больше площадь контакта листьев с раствором. В целом, при использовании I метода обогащения растений селеном, сельскохозяйственные культуры по содержанию в них селена можно расположить в следующий убывающий ряд: листья салата → лук (наземная часть) → петрушка (наземная часть) → лук (подземная часть) → редис → петрушка (подземная часть).

Использование II метода (полив почвы) приводит к лучшему обогащению селеном подземных органов растений, чем наземных. Наибольшие количества этого микроэлемента накапливает лук (CO = 3,4), как сама луковица, так и его зелень. В результате, использования II метода обогащения растений селеном, сельскохозяйственные культуры можно расположить в следующем убывающем порядке: петрушка (наземная часть) → листья салата → редис → петрушка (подземная часть) → лук (наземная часть) → лук (подземная часть).

Таким образом, уровень накопления селена сельскохозяйственными растениями можно увеличить (рисунок 12), используя оба метода (полив почвы и

опрыскивание растений). При этом для увеличения селена в наземной части растения можно рекомендовать I метод (опрыскивание), а для увеличения в подземной части – II метод (полив почвы).

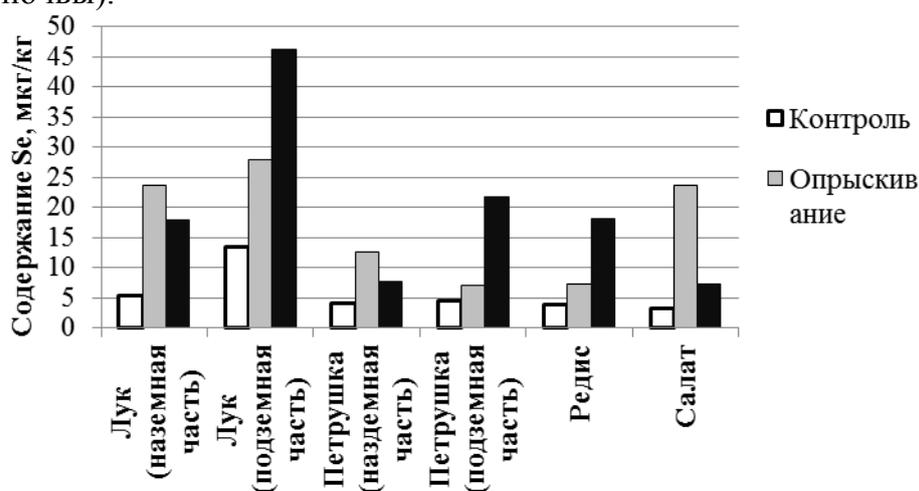


Рисунок 12 – Сравнение методов обработки сельскохозяйственных культур раствором селената натрия

Выбранные способы обогащения положительно влияют не только на накопление селена сельскохозяйственными растениями, но и повышает уровень данного элемента в почве. Так, содержание селена в почве при использовании I метода обогащения увеличилось с  $97,83 \pm 8,45$  мкг/кг до  $133,5 \pm 9,9$  мкг/кг, а при поливе до  $193,8 \pm 10,8$  мкг/кг.

Корреляционным анализом, выявлена взаимосвязь между некоторыми агрохимическими показателями почвы и содержанием в ней селена. Так была выявлена положительная корреляционная зависимость между содержанием селена и  $pH_{\text{водн}}$  ( $r_s = 0,88$ ,  $p < 0,05$ ), фосфором ( $r_s = 0,82$ ,  $p < 0,05$ ), калием ( $r_s = 0,96$ ,  $p < 0,05$ ), неорганическим азотом ( $r_s = 0,80$ ,  $p < 0,05$ ), но отрицательная – с органическим веществом ( $r_s = -0,60$ ,  $p < 0,05$ ).

Проведя статистические сравнения влияния двух методов обработки селеном сельскохозяйственных культур на агрохимические показатели, были выявлены следующие закономерности: при обработке растений II методом содержание калия, в пересчете на  $K_2O$  ( $t = 10,17$ ,  $p < 0,05$ ), неорганического азота ( $t = 16,2$ ,  $p < 0,05$ ) несколько выше, чем среднее содержание при опрыскивании (I метод).

Иная картина наблюдается по органическому углероду ( $t = -2,16$ ,  $p = 0,163$ ),  $pH$  ( $t = 3,81$ ,  $p = 0,06$ ) и содержанию фосфора, в пересчете на  $P_2O_5$  ( $t = 1,96$ ,  $p = 0,189$ ). Среднее содержание данных показателей находятся на одном уровне при использовании и метода полива и метода опрыскивания.

В связи с тем что, исследованные растительные культуры не относятся к природным селенонакопителям, поэтому необходимо обогащение этих растений данным микроэлементом для последующего введения их в рацион питания человека с целью повышения его селенового статуса.

## ИТОГИ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

1) Полученные экспериментальные данные показали отсутствие заметной пространственной изменчивости содержания селена в поверхностном слое вод Белого моря. Все исследованные пробы характеризуются средним ( $0,33 \pm 0,03$  —

0,49 ± 0,05 мкг/л) содержанием данного элемента. Только в одной из точек отбора средняя концентрация селена в воде (0,68 ± 0,04 мкг/л) была превышена в 2 раза, что может быть связано с близостью г. Беломорска. Исходя из данных, полученных в ходе построения профиля вертикального распределения селена на океаническом разрезе «м. Инцы – р. Пулоньга», можно сделать вывод о биогенном типе распределения данного микроэлемента в морской воде.

2) Содержание селена в большинстве рек и озёр находится в пределах 0,70 ± 0,03 – 3,48 ± 0,03 мкг/л, что не превышает ПДК (10 мкг/л). Данное содержание селена в природных водах может служить индикатором наличия в почвах незначительной доли биодоступных для растений форм селена.

3) Питьевая вода, используемая населением города Архангельска, вносит незначительный вклад в обеспеченность селеном организма человека, так как с водопроводной водой поступает менее 1,0 % от необходимого количества селена. Использование бытовых фильтров снижает уровень поступления этого микроэлемента до 0,4 %.

4) Содержание селена в естественных лесных почвах колеблется от 0,11 мг/кг до 0,27 мг/кг, а в луговых от 0,13 мг/кг до 0,25 мг/кг. Корреляционным анализом, выявлена взаимосвязь между содержанием селена в почве и содержанием в ней глинистых фракций ( $r_s = 0,75$ ,  $p < 0,05$ ). Обнаружена связь между содержанием селена в водах и в почвах ( $r_s = 0,92$ ,  $p < 0,05$ ). Уровень содержания селена в почвах изучаемой территории в основном соответствует маргинальной недостаточности (0,125 – 0,175 мг/кг).

5) По интенсивности накопления селена почвенно-растительным покровом территорию Архангельской области можно отнести к зоне слабого накопления, что подтверждает КБН (0,19 – 0,22). Проведенные статистические исследования позволяют сделать вывод о ведущей роли влияния состава почвы и поверхностных вод на накопление селена растениями. Доказано, что с увеличением валового содержания селена в почвах, увеличивается его содержание в растениях ( $r_s = 0,91$ ,  $p < 0,05$ ). Установлено, что содержание селена в растениях Архангельской области определяется рН почвы, на которой они произрастали ( $r_s = 0,45$ ,  $p < 0,05$ ).

6) В ходе проведенных исследований выявлен легкий дефицит селена у жителей города Архангельска, установлена средняя концентрация селена в сыворотке крови, равная 63,97 мкг/л. Статистический анализ данных показал, что среднее содержание селена в сыворотке крови женщин ( $M_e = 60,85$  мкг/л) несколько ниже, чем у мужчин (67,09 мкг/л), ( $U = 908$ ,  $p < 0,05$ ). Выявлено, что содержание селена в сыворотке крови женщин города Архангельска увеличивалось с возрастом. Так, у женщин старше 50 лет среднее содержание селена в сыворотке крови (72,73 мкг/л), по сравнению с женщинами до 50 лет (54,91 мкг/л) выше ( $t = -20,987$ ,  $p < 0,05$ ). Ситуация по содержанию селена в организме мужчин иная. Среднее содержание селена у лиц до 30 лет (80,49 мкг/л) выше, чем у мужчин от 30 до 50 лет (65,86 мкг/л), ( $t = 12,420$ ,  $p < 0,05$ ) и старше 50 лет (54,91 мкг/л) ( $t = 25,080$ ,  $p < 0,05$ ).

7) Содержание селена в производимых на территории Архангельской области, мясных продуктах составило 13 – 126 мкг/кг, в молочных 13 – 152 мкг/кг, рыбопродуктах 5 – 103 мкг/кг, в овощах 0,3 – 20 мкг/кг. При этом наибольший вклад в обеспечение селеном жителей города Архангельска вносят молоко и молочные продукты (61,43%). Выявлено, что фактическое (61,96 – 64,43 мкг/сутки) потребление селена с продуктами питания ниже физиологически необходимого для мужчин (70 мкг/сутки), и достаточное для женщин (55 мкг/сутки).

8) Экспериментально оценен агрохимический способ обогащения селеном овощных сельскохозяйственных культур, выращиваемых на приусадебных участках Архангельской области. Установлено, что наиболее высокой аккумулярующей способностью отличаются лук, петрушка (подземная часть) и редис. В меньшей степени селен накапливают зелень петрушки и листья салата. При этом как опрыскивание, так и полив растений раствором селена, оказывает положительное действие на накопление селена всеми культурными растениями. При использовании I метода обогащения (опрыскивание) растений наибольшее количество селена накапливают листья салата. А использование II метода (полив почвы) приводит к лучшему обогащению подземных органов растений. Наибольшее количество селена накапливает лук ( $CO = 3,4$ ), как сама луковица, так и его зелень.

9) Корреляционным анализом, выявлена взаимосвязь между некоторыми агрохимическими показателями почвы и содержанием в ней селена. Так была выявлена положительная корреляционная зависимость между содержанием селена и  $pH_{\text{водн}}$  ( $r_s = 0,88$ ,  $p < 0,05$ ), фосфором ( $r_s = 0,82$ ,  $p < 0,05$ ), калием ( $r_s = 0,96$ ,  $p < 0,05$ ), неорганическим азотом ( $r_s = 0,80$ ,  $p < 0,05$ ), но отрицательная – с органическим веществом ( $r_s = -0,60$ ,  $p < 0,05$ ).

#### **Список основных работ, опубликованных автором по теме диссертации:**

*Публикации в научных изданиях, рекомендованных ВАК при соискании ученой степени кандидата биологических наук:*

1. Евдокимова, В. П. Содержание селена в водах Архангельской области, Белого и Баренцева морей / В. П. Евдокимова, Ю. А. Бахматова // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. – 2013. – №2. – С. 113 – 121.

2. Бахматова, Ю. А. Роль питьевой воды в обеспечении селеном жителей города Архангельска / Ю. А. Бахматова, В. П. Евдокимова, Л. Ф. Попова // Вестник Московского Государственного областного университета. Серия: Естественные науки. – 2015. – №5. – С. 6 – 12.

3. Евдокимова, В. П. Оценка содержания и распределение селена в водах Белого и Баренцева морей / В. П. Евдокимова, Ю. А. Бахматова, Л. Ф. Попова, Р. Д. Коробицына // Вода: Химия и экология. – 2016. – №6. – С. 26 – 31.

*Статьи и сообщения в научных журналах и сборниках:*

1. Бахматова, Ю.А. Влияние различных способов обработки сельскохозяйственных культур на содержание в них селена / Ю. А. Бахматова, В. П. Евдокимова, Л. Ф. // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: Межвузовский сборник научных трудов/ отв. Редактор П.А. Феклистов/Северный Арктический федеральный университет. – г. Архангельск. – Вып. 18. – 2015. – С. 207 – 211.

2. Бахматова, Ю. А. Исследование потребления селена с продуктами питания жителями города Архангельска / Ю. А. Бахматова, В. П. Евдокимова, О. А. Голубева, Л. Ф. Попова // Strategiczne pytania światowej nauki - 2016 Materiały XII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji. 2016. – С. 46 – 49.

3. Евдокимова, В. П. Селен в компонентах экосистем Архангельской области / В. П. Евдокимова, Ю. А. Бахматова, Е. Н. Сеницкая // Материалы докладов Всероссийской конференции с международным участием «Экология и геологические изменения в окружающей среде северных регионов». (24 — 28 сентября 2012 года). Архангельск. – 2012. – С. 77 – 80.

4. Евдокимова, В. П. Содержание селена в поверхностных водах Архангельской области / В. П. Евдокимова, Ю. А. Бахматова // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: Межвузовский сборник научных трудов/ отв. Редактор П.А. Феклистов/Северный Арктический федеральный университет. – г. Архангельск. – Вып. 15. – 2012. – С. 96 – 100.

5. Евдокимова, В. П. Обеспеченность селеном жителей города Архангельск / В. П. Евдокимова, Ю. А. Бахматова, Е. Н. Сеницкая // Материалы VI Международной научно-практической конференции «Экологические проблемы природных и урбанизированных территорий» (23-24 мая). Астрахань. – 2013. – С. 81 – 84.

6. Бахматова, Ю. А., Содержание и характер распределения селена в поверхностных водах на территории Архангельской области / Ю. А. Бахматова, В. П. Евдокимова, Р. Д. Кузовлева // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2014. – №4 (63), часть 2. – С. 37 – 41.

7. Евдокимова, В. П., Селен в поверхностных водах Белого и Баренцева морей / В. П. Евдокимова, Ю. А. Бахматова, Л. Ф. Попова, Р. Д. Коробицына // Сборник тезисов Всероссийской конференции с международным участием «Состояние арктических морей и территорий в условиях изменения климата». Архангельск. – САФУ. – 2014. – С.179 – 180.

8. Бахматова, Ю.А. Селеновый статус жителей города Архангельска и пути его корректировки / Ю. А. Бахматова, В. П. Евдокимова, Е. Н. Сеницкая // Национальная ассоциация ученых (НАУ). Серия: Биологические науки. – 2015. – №5(10), часть 2. – С. 116 – 120.

9. Бахматова, Ю.А. Роль продуктов питания в обеспечении селеном жителей города Архангельска / Ю. А. Бахматова, Л. Ф. Попова // Новая наука: Проблемы и перспективы. – 2016. – №121-3. – С. 4 – 7.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую благодарность всем коллегам – соавторам публикаций, принимавшим участие на различных этапах выполнения исследований. Особую благодарность автор выражает своему научному руководителю доктору биологических наук, кандидату химических наук, доценту, Поповой Л.Ф. за всестороннюю помощь в написании и выполнении работы. Автор благодарит коллектив кафедры химии и химической экологии Высшей школы естественных наук и технологий САФУ им. М.В. Ломоносова за помощь на протяжении всех лет исследования. Отдельная благодарность автор доктору с.-х. наук, профессору, Почетному работнику ВПО РФ Наквасиной Е.Н. за консультацию над диссертационным проектом.

**Бахматова Юлия Алексеевна**  
**«Определение, оценка и оптимизация селенового статуса территории и населения Архангельской области»**

Высокая биологическая значимость селена и его эссенциальность для организма человека определяют приоритетность оценки селенового статуса территорий в большинстве регионов России.

В диссертационном исследовании проведено системное исследование на территории Архангельской области по изучению особенностей распределения селена в компонентах экосистем – водах, почвах, растениях и животных, в продуктах питания и организме человека.

Результаты проведенного исследования, показали, что исследуемые пробы на территории Архангельской области морской воды и воды рек характеризуются средним, а воды озер низким содержанием селена. Почвенно-растительный покров по интенсивности накопления селена можно отнести к зоне слабого накопления.

Установлены факторы риска, непосредственно влияющие на формирование селенового статуса у лиц, постоянно проживающих на территории Архангельской области: низкое содержание данного микроэлемента в питьевой воде и продуктах питания местного производства; недостаточное содержание селена в суточных рационах питания населения.

Выявлены условия оптимизации селенового статуса населения, путем агрохимического обогащения селенатом натрия овощных сельскохозяйственных культур, выращиваемых на приусадебных участках Архангельской области.

**Bakhmatova Yulia Alekseevna**  
**«Determination, assessment and optimization of the selenium status of the territory and population of the Arkhangelsk region»**

The high biological importance of selenium and its essentiality for the human body determine the priority of assessing the selenium status of territories in most regions of Russia.

In a dissertation research the system research in the territory of the Arkhangelsk region on studying of features distribution of selenium in the components of ecosystems – waters, soils, plants and animals, in food and human organism..

The results of the conducted research, have shown that the studied tests in the territory of the Arkhangelsk region of sea water and water of the rivers are characterized by an average, and waters of lakes the low content of selenium. The soil and vegetable cover on intensity of accumulation of selenium can be carried to a zone of weak accumulation.

The risk factors which are directly influencing formation of the selenic status at the persons who are constantly living in the territory of the Arkhangelsk region are established: the low microelement in drinking water and food of local production; insufficient content of selenium in daily food allowances of the population.

Conditions of optimization of the selenic status of the population, by agrochemical enrichment selenaty sodium of the vegetable crops which are grown up on personal plots of the Arkhangelsk region are revealed.