

На правах рукописи



Гурьев Никита Евгеньевич

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
СОДЕРЖАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЛЕНА
В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ТЕРРИТОРИИ ЮГА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность 1.6.21 – Геоэкология (географические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискателя ученой степени
кандидата географических наук

Барнаул - 2026

Работа выполнена на кафедре геоэкологии и природопользования Школы естественных наук Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский государственный университет» (ФГАОУ ВО ТюмГУ), г. Тюмень.

Научный руководитель: Синдирева Анна Владимировна, доцент, доктор биологических наук, заведующая кафедрой геоэкологии и природопользования Школы естественных наук ФГАОУ ВО ТюмГУ

Официальные оппоненты: Капитальчук Иван Петрович, доктор географических наук, доцент, заведующий кафедрой географии и туризма Естественно-географического факультета Государственного образовательного учреждения «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко» (Молдова, г. Тирасполь).

Березкин Виктор Юрьевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии окружающей среды ФГБУН Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского (ГЕОХИ РАН) (г. Москва).

Ведущая организация: ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук (ИПА СО РАН, г. Новосибирск).

Защита диссертации состоится «10» декабря 2026 года в 13:00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.039.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук по адресу: 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института водных и экологических проблем СО РАН и на сайте www.iwer.ru.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, подписанные и заверенные печатью организации, просим отправлять по адресу: 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1, Диссертационный совет, e-mail: iwer@iwer.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор географических наук, доцент



И.Д. Рыбкина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Селен является жизненно важным микроэлементом, содержание которого в продуктах растительного и животного происхождения зависит от множества факторов, в том числе геолого-геоморфологических условий территории, типа (подтипа) почв, биологических особенностей растений. Являясь составной частью ферментов, он участвует в различных реакциях в живом организме, в том числе выполняя роль антиоксиданта. Недостаток или избыток селена в почвах, воде, растениях может являться причиной появления специфических эндемичных заболеваний и патологий, вызывать мутации на генном уровне, а также нарушать работу иммунной системы организма человека. Для определения причин недостатка или избытка селена в организме человека необходимо комплексное изучение его содержания и распространения в компонентах окружающей среды, а также природно-антропогенных факторов, влияющих на его миграцию.

Степень разработанности темы исследования. Основой комплексного изучения содержания селена в компонентах окружающей среды юга Тюменской области являлись общепринятые отечественные и зарубежные научные исследования. Для изучения содержания селена в компонентах окружающей среды использовались труды А.П. Виноградова, А.И. Перельмана, М.А. Глазовской, Б.Б. Полюнова, А.Н. Ермакова, В.В. Ермакова, В.В. Ковальского, И.И. Назаренко, А.И. Сысо, А.В. Пузанова, С.Ф. Тютюкова, В.П. Бондарева, В.Р. Беляева, Н.Н. Иванова, О. Эвра, Н.И. Алексеевского, Р.С. Чалова, А.П. Дедкова, В.И. Мозжерина, Н.И. Макавеева, Е.М. Коробовой, Л.И. Колмыковой, С.С. Шешницана, С.Н. Курскова, Ю.А. Бахматовой, В.Л. Евдокимовой, Е.В. Шляпунова, Г.М. Сергеева, И.С. Ломоносова, Т.М. Маймановой, Н.А. Голубкиной, А.В. Синдиревой, М.В. Капитальчук, И.П. Капитальчук, М.Я. Школьника, Л.Н. Барабанщиковой, В.А. Вихрева, Т.Б. Лебедева, А.С. Бусыгина, А.Е. Побилат, С.П. Торшина, D. Scott, R. Stewart, M. Martínez, J.B. Milne, M. Rovira, J. Tan, T. Ylaranta, M. Wang, F. Seby и др.

В границах юга Тюменской области изучение содержания селена в системе почва–растения–животные рассмотрено в работах В.В. Ермакова, Л.Н. Барабанщиковой (2013 г.), А.В. Синдиревой (2021-2023 гг.) и др., В.А. Боева (2013 г.), А.К. Мангутовой (2023-2025 гг.) и др. В то же время для комплексной геоэкологической оценки остается актуальным вопрос определения содержания селена в подстилающих почву материнских породах, почвах элементарных ландшафтов, в воде и донных отложениях водотоков и водоемов.

Цель диссертационной работы: дать комплексную геоэкологическую оценку содержания селена в компонентах окружающей среды для оценки селенового статуса территории юга Тюменской области.

Задачи:

1. Изучить особенности вертикального распределения селена в отложениях кутанбулакской свиты в границах юга Тюменской области.
2. Оценить влияние геоморфологических процессов на аккумуляцию и рассеивание селена в почвах элементарных ландшафтов юга Тюменской области.
3. Изучить природные и антропогенные факторы, оказывающие влияние на содержание и перераспределение селена в воде и донных отложениях водотоков и водоемов юга Тюменской области.
4. Установить закономерности содержания и вертикального распределения селена в фоновых, агро- и урбанизированных почвах территории юга Тюменской области.
5. Определить биогеохимические факторы, оказывающие влияние на содержание селена в сельскохозяйственных растениях, на примере яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum*) в условиях юга Тюменской области.
6. Дать геоэкологическую оценку содержания селена в компонентах окружающей среды территории юга Тюменской области.

Объекты исследования: отложения кутанбулакской свиты, зональные и интразональные почвы агроценозов, урбанизированных и фоновых территорий, вода и донные отложения водотоков и водоемов, сельскохозяйственные растения (на примере *Triticum aestivum*) территории юга Тюменской области.

Предмет исследования: природно-антропогенные факторы и биогеохимические условия территории исследования, оказывающие влияние на содержание и миграцию селена в компонентах окружающей среды юга Тюменской области.

Научная новизна заключается в том, что впервые в границах юга Тюменской области выполнено комплексное исследование содержания селена в компонентах окружающей среды: в континентальных отложениях кутанбулакской свиты, водотоках и водоемах; изучены факторы, влияющие на содержание и распределение селена в системе почва–растение. Установлены зависимости между содержанием селена и уровнями макро- и микроэлементов в почвах и растениях. Рассмотрены зоны аккумуляции и рассеивания изучаемого микроэлемента в зональных и интразональных почвах, определена связь физических и химических параметров воды с содержанием селена в воде и донных отложениях водотоков и водоемов.

Теоретическое и практическое значение работы заключается в установлении биогеохимических факторов, оказывающих влияние на содержание и распределение селена в почвах, закономерности вертикального перемещения в почвообразующих породах, латерального перемещения в почвах ландшафтно-геохимических профилей. Установлены взаимосвязи содержания изучаемого микроэлемента с физико-химическими параметрами воды, фазой гидрологического режима, а также генезисом водного объекта. Полученные данные позволяют выделить зоны «маргинальной недостаточности» и «селенодефицита» в компонентах окружающей среды для разработки программ коррекции содержания изучаемого микроэлемента в случаях его недостатка у населения, проживающего на территории юга Тюменской области.

Полученная база данных содержания селена в объектах окружающей среды внедрена в деятельность Тюменского филиала ФГБУ «РосАгрохимслужба», а также используется в учебном процессе Тюменского государственного университета при проведении лекционных и практических занятий для направлений подготовки: 05.03.06.; 05.04.06 «Экология и природопользование», 05.03.02 «География». Полученные данные могут быть использованы при подготовке ежегодных докладов «Об экологической ситуации в Тюменской области», «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Тюменской области», включены в монографию «Интегральный подход к нормированию действия селена в системе почва–растение–животное для разработки научно обоснованной профилактики микроэлементов в регионах России и Монголии» (2024 г.) и «Экологическая ситуация в городе Тюмени» (2026 г.).

Защищаемые положения:

1. Формирование зон селенодефицита, а также маргинальной недостаточности связано с низким содержанием микроэлемента в континентальных отложениях территории исследования. Аккумуляция селена происходит за счет изменения плотности сложения горных пород и генезиса отложений. В ландшафтно-геохимических профилях латеральное перемещение селена зависит от почвообразовательных процессов, крутизны рельефа и характеризуется накоплением в трансаккумулятивном ландшафте.

2. Содержание селена в системе вода–донные отложения водотоков юга Тюменской области является очень низким и зависит от фазы гидрологического режима: с увеличением микроэлемента в воде в период весеннего половодья, а в донных отложениях – в период осенней межени. Содержание селена в воде и донных отложениях выше в водоемах антропогенного происхождения. В большинстве водоемов и водотоков наблюдается досто-

верная корреляция между концентрацией селена и температурой воды, уровнем pH, минерализацией и содержанием растворённого кислорода.

3. Содержание селена в верхнем аккумулятивном горизонте почв юга Тюменской области изменяется в интервале от 0,23 до 0,57 мг/кг, значительного отличия в зависимости от типа почв и степени антропогенной нагрузки не установлено. Накопление селена в яровой мягкой пшенице характеризуется низким коэффициентом биологического накопления, вне зависимости от типа почв и составляет от 0,04 до 0,32.

4. По результатам комплексной геоэкологической оценки компонентов окружающей среды территорию юга Тюменской области можно отнести к селенодефицитным.

Область исследования диссертационной работы соответствует пунктам паспорта специальности 1.6.21 – Геоэкология (географические науки): Изучение состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов (**пункт 1**); Оценка экологического состояния и управление современными ландшафтами. Глобальные и региональные изменения ландшафтно-климатических условий среды обитания в антропоцене (**пункт 11**).

Апробация результатов работы. Результаты диссертационной работы апробированы на всероссийских и международных конференциях: Инновации в охране окружающей среды для устойчивого социально-экономического развития: Глобальное и евразийское партнерство (Кокшетау, 2021); I Экологическом водном форуме Южного Урала (Челябинск, 2022); Почвы и окружающая среда (Новосибирск, 2023); Современное развитие биогеохимических идей В.И. Вернадского» (Москва, 2023); Проблемы геохимической экологии в условиях техногенеза биосферы (Томск, 2025).

Личный вклад автора состоит в постановке цели и задач исследования, выборе объектов исследования, формулировке основных научных положений, выносимых на защиту. Автор работы осуществлял экспедиционные, полевые и лабораторные исследования (отбор проб компонентов окружающей среды территории юга Тюменской области), анализ и обобщение полученных данных. Участвовал в подготовке монографии «Интегральный подход к нормированию действия селена в системе почва–растение–животное для разработки научно обоснованной профилактики микроэлементозов в регионах России и Монголии» и «Экологическая ситуация в городе Тюмени», публикаций в рецензируемых научных изданиях, написании и оформлении диссертации.

Материалы и методы исследования. Экспедиционные и лабораторные исследования выполнены согласно действующим нормативным документам. Определение содержания селена в компонентах окружающей сре-

ды выполнено в аккредитованной испытательной лаборатории филиала ФГБУ «ЦЛАТИ по УФО» по Тюменской области с использованием атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно связанной плазмой iCAP 7200 и атомно-абсорбционного спектрометра Agilent 240Z. При выполнении работы использовались данные агрохимических показателей почв и удельной активности естественных и техногенных радионуклидов по реперным участкам ФГБУ ГЦАС «Тюменский». Статистическая обработка полученных данных проводилась в программе Microsoft Excel, создание карт-схем выполнено в геоинформационной системе QGIS.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованной литературы и 4 приложений. Объем диссертации составляет 203 страницы, включая 28 рисунков и 20 таблиц. Приложения суммарно состоят из 32 таблиц и 1 рисунка. Список литературы содержит 275 наименований, из них 59 на иностранном языке.

Научные публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 11 работ, в том числе 4 статьи, входящих в перечень рецензируемых журналов, рекомендованных ВАК, 1 работа, входящая в базу данных WoS / Scopus, и 2 монографии.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю, д.б.н., доценту, заведующему кафедрой геоэкологии и природопользования ФГАОУ ВО «ТюмГУ» Анне Владимировне Синдиревой, директору Тюменского филиала ФГБУ «РосАгрохимслужба» С.Г. Котченко, сотруднику филиала ФГБУ «ЦЛАТИ по УФО» по Тюменской области А.В. Андерсон, к.г.-м.н., профессору кафедры физической географии и экологии ФГАОУ ВО «ТюмГУ» В.Д. Старкову за конструктивные замечания и консультации. Автор благодарит коллектив кафедры геоэкологии и природопользования ФГАОУ ВО «ТюмГУ» за методическую помощь и консультации при выполнении диссертационной работы.

Анализ проб объектов окружающей среды на содержание селена выполнен при финансовой поддержке РФФИ и МОКНМС в рамках научного проекта № 20-55-44028.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Формирование зон селенодефицита, а также маргинальной недостаточности связано с низким содержанием микроэлемента в континентальных отложениях территории исследования. Аккумуляция селена происходит за счет изменения плотности сложения горных пород и генезиса отложений. В ландшафтно-геохимических профилях латеральное перемещение селена зависит от почвообразовательных про-

цессов, крутизны рельефа и характеризуется накоплением в трансаккумулятивном ландшафте.

Оценка содержания и вертикального распределения селена выполнена на примере континентальных отложений кутанбулакской свиты. Отбор проб отложений осуществлялся в каждом генетическом горизонте. На рисунке 1 представлено содержание селена в отложениях кутанбулакской свиты территории исследования.

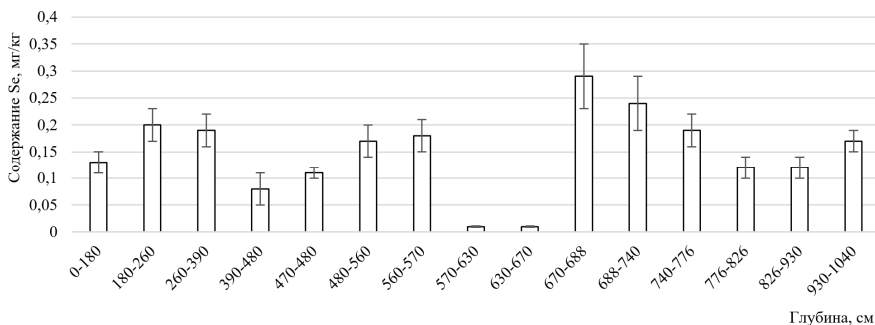


Рисунок 1. Содержание селена в отложениях кутанбулакской свиты юга Тюменской области, мг/кг (воздушно сухой массы)

В отложениях кутанбулакской свиты содержание селена варьируется в диапазоне от 0,01 до 0,29 мг/кг, среднее содержание – 0,15 мг/кг. По классификации J. Тап (2002) территорию можно отнести к категориям «недостатка/селенодефицита» и «маргинальной недостаточности». Увеличение содержания селена выявлено в речных аллювиальных отложениях, расположенных на сопряжённых границах с пойменными аллювиальными отложениями. Грубый (крупнозернистый) осадочный материал, приуроченный к береговым частям русла р. Туры, а также её прирусловым отмелям, характеризуется зонами накопления селена из-за естественного механического барьера нижележащих горизонтов с максимальным накоплением микроэлемента до 0,24 мг/кг. На участках озерно-аллювиальных отложений, формирование которых связано с изменением направления русла р. Туры и образованием стариц, содержание селена в среднем составляет 0,29 мг/кг.

Одним из факторов, оказывающих влияние на содержание и латеральное перемещение селена в почвах, является рельеф местности. На примере почв долин рек Бабарынки и Канырки, относящихся к бассейну р. Туры, выполнены работы по заложению ландшафтно-геохимических профилей на участках элювиальных, трансэлювиальных и трансаккумулятивных элементарных ландшафтов. Пробы почв отбирались до глубины появления

иллювиального горизонта с интервалом в 10 см. Комплексная характеристика отобранных проб представлена в таблице 1. На рисунке 2 представлено содержание селена в почвах элементарных ландшафтов долин рек Бабарынки и Канырки.

Таблица 1. Характеристика участка отбора проб почв элементарных ландшафтов долин рек Бабарынки и Канырки

Тип почв	Плотность почв горизонтов (средняя), г/см ³	Крутизна участка в °	Элементарный ландшафт
Дерново-подзолистые	A ₁ (1,34)-A ₂ (1,3)-A ₂ B(1)-B(1,1)	20	Элювиальный
	A ₁ (1)-A ₂ (1,1)-A ₂ B(0,89)-B(1,1)	17	Трансэлювиальный
	A ₁ (1,53)-A ₂ (1,1)-A ₂ B(0,91)-B(0,8)	21	Трансаккумулятивный
Лугово-черноземные	A ₁ (1,04)-AB(1,25)-B(1,29)	20	Элювиальный
	A ₁ (1,23)-AB(1,31)-B(1,17)	27	Трансэлювиальный
	A ₁ (1,27)-AB(1)-B(1,01)	18	Трансаккумулятивный

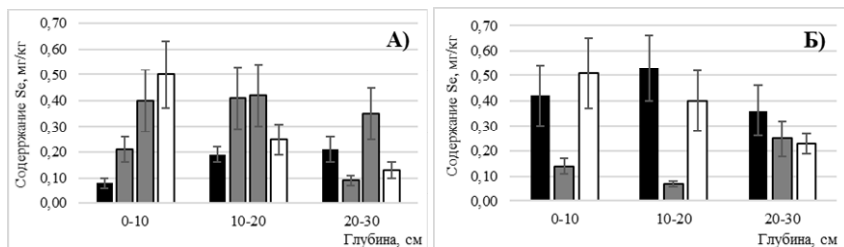


Рисунок 2. Содержание селена в почвах элементарных ландшафтов рек Бабарынки (А) и Канырки (Б), мг/кг (воздушно сухой массы)

Условные обозначения к рисунку 2: – элювиальный ландшафт; – трансэлювиальный ландшафт; – трансаккумулятивный ландшафт

Различия в вертикальном распределении селена в рассматриваемых пробах связаны с типом (подтипом) почв, расположением почвенного разреза на участках элементарного ландшафта, крутизной склона и плотностью почвы. Плоскостной смыв, обусловленный деятельностью талых и дождевых вод, отсутствие древесных видов растений оказывает наибольшее влияние на содержание и распределение селена на глубине 0-20 см (горизонты A₀/A₁) вне зависимости от типа (подтипа) почв. Так в верхнем почвенном слое (0-10 см – A₁) в лугово-черноземных почвах оврага р. Бабарынки выявлена четкая тенденция к увеличению данного микроэлемента от элювиального ландшафта к трансаккумулятивному (0,08-0,50 мг/кг), аналогичная закономерность обнаружена в профиле дерново-подзолистых

почв оврага р. Каньрки, где содержание микроэлемента увеличивается от 0,42 до 0,51 мг/кг.

Одним из факторов, оказывающих влияние на латеральную миграцию селена в ландшафтно-геохимических профилях, является угол наклона местности. В случае с долиной реки Бабарынки выявлено, что плавное уменьшение уклона способствует более равномерному распределению селена в элювиальных (20°), трансэлювиальных (17° и 15°) и трансаккумулятивных (21°) ландшафтах. В долине р. Каньрки, где имеются резкие перепады высот и, как следствие, общий уклон местности в границах трансэлювиального ландшафта, происходит изменение в миграции не только микроэлементов, но и почвообразовательных процессов, что выражается в изменении мощности горизонтов дерново-подзолистых почв. В районах с большими перепадами высот, согласно данным Hui Chang и др. (2023), латеральное перемещение в ландшафте происходит при уклонах выше 27°. Однако в условиях юга Тюменской области, на территории которой не наблюдаются резкие перепады высот в границах элювиальных, трансэлювиальных и трансаккумулятивных геохимических-ландшафтов, латеральное перемещение селена происходит на участках с уклоном менее 27°. Увеличение содержания селена в элювиальных, трансэлювиальных и трансаккумулятивных ландшафтно-геохимических профилей, выявлено в горизонтах A_0/A_1 на глубинах 0-10 см.

2. Содержание селена в системе вода–донные отложения водотоков юга Тюменской области является очень низким и зависит от фазы гидрологического режима: с увеличением микроэлемента в воде в период весеннего половодья, а в донных отложениях – в период осенней межени. Содержание селена в воде и донных отложениях выше в водоемах антропогенного происхождения. В большинстве водоемов и водотоков наблюдается достоверная корреляция между концентрацией селена и температурой воды, уровнем pH, минерализацией и содержанием растворённого кислорода.

Содержание селена в воде определено на крупных водотоках, протекающих на территории юга Тюменской области: реках Иртыш (выше по течению от с. Абалак), Ишим (выше по течению от с. Клепиково), Тобол (выше по течению от с. Упорово), Ук (выше по течению от п. Речной) в период осенней межени. В г. Тюмени: в воде и донных отложениях рек Туры, Бабарынки, Тюменки, Конюшенки в период весеннего половодья и осенней межени; в водоемах и донных отложениях различного генезиса; в воде хозяйственно-питьевого назначения. На рисунке 3 представлено содержание селена в воде рек (крупных рек юга Тюменской области и водо-

токов г. Тюмени), а также в воде, используемой для питьевых и хозяйственно-бытовых нужд г. Тюмени.

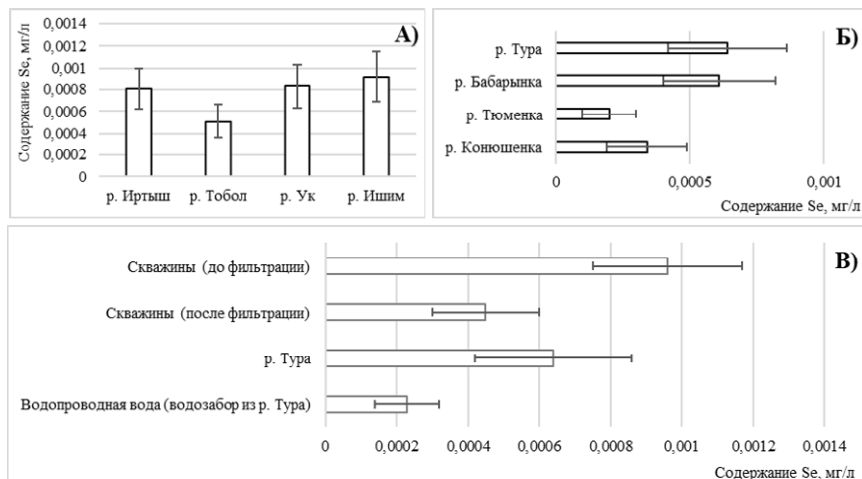


Рисунок 3. Содержание селена воде рек юга Тюменской области (А), среднее содержание селена воде водотоков г. Тюмени (Б) и среднее содержание селена в воде питьевого назначения (В)

Содержание селена в водах рек юга Тюменской области находится в интервале от 0,00051 до 0,00092 мг/л, максимальное содержание отмечает-ся в р. Ишим (0,00092 мг/л), минимальное в р. Тобол (0,00051 мг/л), сред-нее содержание данного микроэлемента в реках юга Тюменской области составляет 0,0007 мг/л. Полученные результаты не превышают действующие ПДК селена в воде согласно ГОСТ 17.1.5.05 – 0,002 мг/л (для рыбохо-зяйственных нужд) и 0,05 мг/л (для питьевых и минеральных вод), и нахо-дятся в интервале значений для рек Российской Федерации. Качество воды является одним из лимитирующих факторов, влияющих на здоровье и бла-гополучие людей. Более высокое содержание селена выявлено в подземных водах скважин по сравнению с поверхностным источником водоснабжения г. Тюмени (р. Тура). Использование фильтрационных установок снижает содержание селена в 2,1 раза в подземных водах скважин и в 2,7 раза в во-допроводной воде общего пользования.

Неравномерное содержание селена в воде и донных отложениях рек г. Тюмени обусловлено спецификой их пространственного расположения, а также частичной или полной антропогенной трансформацией русла. В среднем содержание селена в воде в период весеннего половодья в 1,5 раза

выше, чем в период осенней межени. Увеличение содержания селена связано с поступлением в русло рек с прилегающих территорий поверхностного стока из-за таяния снеговых вод и, как следствие, выносом материала в русло рек. В осенний период с уменьшением количества взвешенных веществ и вследствие снижения мутности воды содержание селена в воде уменьшается, а в донных отложениях – увеличивается. Для р. Туры, а также ее притоков – рек Бабарынки, Тюменки, Конюшенки, – географически расположенных в границах г. Тюмени, определен характер взаимосвязи содержания селена в воде и донных отложениях с физико-химическими параметрами воды (температура воды, уровень pH, TDS, количество O₂).

По результатам регрессионного анализа определена корреляционная связь между содержанием селена в воде и такими параметрами, как уровень pH ($r = -0,8$), температура воды ($r = -0,7$), содержание растворенного кислорода ($r = -0,5$), минерализация ($r = 0,9$). В донных отложениях – с уровнем pH ($r = 0,5$), во всех случаях ($p \leq 0,05$). В отечественных и зарубежных работах отмечается связь между содержанием селена и уровнем pH воды, которая выражается в переходе форм селена из растворенного состояния в твердую фазу.

Результаты исследования содержания селена в воде и донных отложениях водоемов г. Тюмени представлены на рисунке 4.

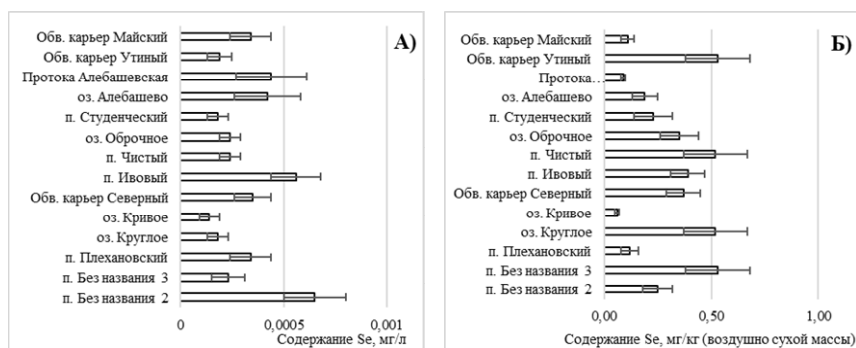


Рисунок 4. Содержание селена в воде (А) и донных отложениях (Б) водоемов г. Тюмени

Около 68% водоёмов г. Тюмени по своему генезису относятся к антропогенным, и порядка 38% составляет группа природных водоёмов преимущественно старичного генезиса. Преимущественное питание водоёмов природного и антропогенного генезиса осуществляется за счёт атмосферных и подземных источников. Все водоёмы, за исключением озера Оброчного, бессточные и находятся на активной стадии эвтрофикации.

Результаты исследования содержания селена в воде водоемов аналогичны данным, полученным по содержанию селена в воде рек территории г. Тюмени и юга Тюменской области. В среднем содержание селена в воде и донных отложениях водоемов антропогенного происхождения в два раза больше, чем в водоемах природного. Неравномерное распределение селена в системе вода–донные отложения объясняется типом питания, фазой водного режима, а также основными физико-химическими параметрами воды водоемов. В период летней межени, с ростом температуры воды и активизацией биологических процессов в водоеме, увеличивается содержание растворенного кислорода и минерализация воды. В результате отсутствия течения в бессточных водоемах селен аккумулируется на взвешенных органических частицах в воде. Часть селена в виде селената (Se^{6+}) адсорбируется в донных отложениях на поверхности оксидов железа, глин и органических соединений в результате активного цветения водной растительности и повышения pH воды, а также уменьшения содержания растворенного кислорода и увеличения уровня минерализации.

3. Содержание селена в верхнем аккумулятивном горизонте почв юга Тюменской области изменяется в интервале от 0,23 до 0,57 мг/кг, значительного отличия в зависимости от типа почв и степени антропогенной нагрузки не установлено. Накопление селена в яровой мягкой пшенице характеризуется низким коэффициентом биологического накопления вне зависимости от типа почв и составляет от 0,04 до 0,32.

Определение содержания селена выполнено в профилях агроценозов и фоновых почв (естественные ландшафты с ненарушенным почвенным профилем), а также в верхнем слое урбаноземов. Описание и отбор проб почв агроценозов, а также сельскохозяйственной растительности (яровая мягкая пшеница *Triticum aestivum*) выполнены на реперных участках Тюменского филиала ФГБУ «РосАгрохимслужба». На рисунке 5 представлено содержание селена в поверхностно-преобразованном слое агроценозов (пахотный слой), урбанизированных почв г. Тюмени и фоновых.

Диапазон содержания селена в пахотном слое почв юга Тюменской области варьируется в интервале от 0,17 мг/кг в пойменно-дерновых средне-суглинистых почвах Тобольского района до 0,50 мг/кг в аллювиально-луговых глинистых почвах Исетского района. Среднее значение содержания селена в почвах юга Тюменской области составляет 0,37 мг/кг. По классификации Тап J. (2002) территория исследования относится к категории «селенодефицита» с зонами «маргинальной недостаточности (от 0,125 до 0,175 мг/кг)» и «области оптимума (от 0,175 до 3 мг/кг)».

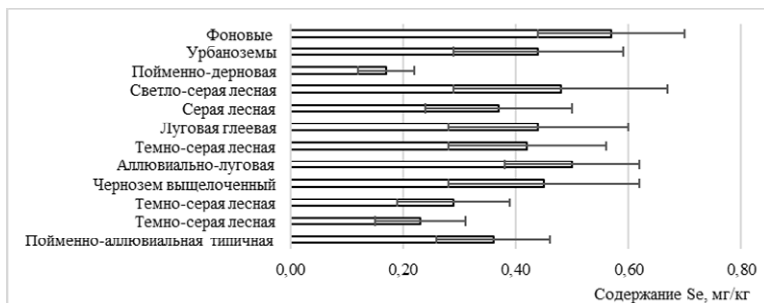


Рисунок 5. Содержание селена в пахотном слое почв агроценозов реперных пунктов Тюменского филиала ФГБУ «РосАгрохимслужба»; в среднем в урбанизированных почвах г. Тюмени и фоновых почвах, мг/кг воздушно-сухой массы

В городских ландшафтах под влиянием активной, а в некоторых случаях постоянной или периодической трансформации почвенных горизонтов происходит нарушение естественных процессов, что способно формировать геохимические аномалии с зонами аккумуляции и рассеивания макро- и микроэлементов. Среднее содержание селена (0,45 мг/кг) в урбанизированных почвах г. Тюмени находится в интервалах значений почв агроценозов юга Тюменской области.

Содержание селена и его распределение в профиле почв агроценозов и условно фоновых зональных (светло-серой и темно-серой лесной) и интразональных (пойменно-дерновой и аллювиально-луговой) почв юга Тюменской области представлено на рисунках 6-7.

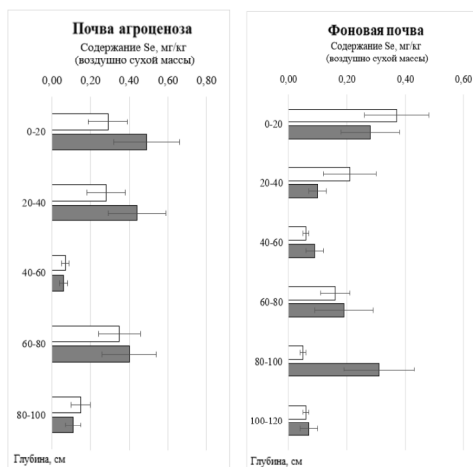


Рисунок 6. Вертикальное распределение селена в серых-лесных почвах, мг/кг воздушно-сухой массы
Условные обозначения:
□ — содержание селена в темно-серой лесной почве;
■ — содержание селена в светло-серой лесной почве

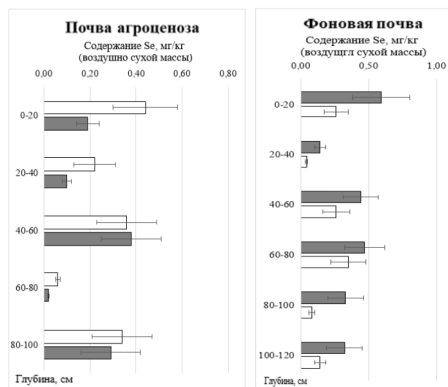


Рисунок 7. Вертикальное распределение селена в профиле аллювиальных почв, мг/кг воздушно-сухой массы

Условные обозначения:

□ – содержание селена в пойменно-дерновой почве;

■ – содержание селена в аллювиально-луговой почве

Максимальное содержание изучаемого микроэлемента наблюдается в горизонте $A_{\text{пах}}/A_1$ и BC/C. Интенсивное накопление селена в горизонте $A_{\text{пах}}/A_1$ связано с его биологической аккумуляцией растениями. Низкое содержание селена в горизонте B связано с изменением гранулометрического состава и плотностью почвы.

Повторный максимум накопления селена выявлен в горизонте BC из-за смены гранулометрического состава (с суглинистого на глинистый), а также появления карбонатного слоя, который способствует увеличению фиксации изучаемого микроэлемента и уменьшению миграции в нижележащую почвообразующую породу. Миграция и аккумуляция селена в профилях почв агроценозов и фоновых (пойменно-дерновой и аллювиально-луговой) почв, вне зависимости от степени антропогенной трансформации, имеют общие черты. К зонам аккумуляции селена относятся горизонты $A_{\text{пах}}/A_1$ (0–20 см) и Bg (60–80 см).

Накопление изучаемого микроэлемента связано с его фиксацией в гумусовом горизонте, в местах смены гранулометрического состава и перехода к более тяжелым осадочным породам, где выявлен повторный пик его накопления.

К промежуточному интервалу, в котором происходит вымывание селена талыми снеговыми и дождевыми водами вниз по почвенному профилю, относятся глубины 20–40 см ($A_{\text{пах}}-A_1/Bg$).

В фоновых почвах с увеличением глубины и приближением к материнской породе содержание селена плавно уменьшается, однако для почв агроценозов выявлен повторный максимум накопления на глубине 80–100 см, что связано с активной распашкой и нарушением плотности вышележащих почвенных горизонтов.

Содержание селена в яровой мягкой пшенице представлено на рисунке 8.

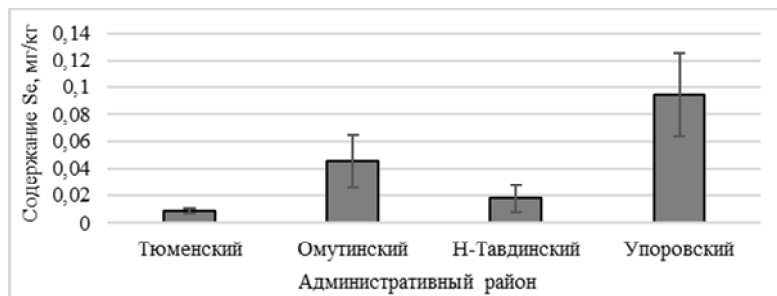


Рисунок 8. Содержание селена в *Triticum aestivum* выращенных в различных административных районах юга Тюменской области

Содержание селена в яровой мягкой пшенице сорта Тобольская степная варьирует от 0,003 до 0,092 мг/кг, максимальное содержание – 0,092 мг/кг (Упоровский район), минимальное содержание – 0,003 мг/кг (Тюменский район) и отличается в зависимости от природной зоны. В целом по результатам исследования выявлено, что яровая мягкая пшеница *Triticum aestivum*, выращенная на темно-серой и серой лесной почве, слабо накапливает селен. Так коэффициенты биологического накопления составляют 0,11, 0,05, 0,32 и 0,04 для Омутинского, Н-Тавдинского, Упоровского и Тюменского районов соответственно. В целом можно отметить, что биологическое накопление изучаемого микроэлемента в яровой мягкой пшенице *Triticum aestivum* крайне низкое. Можно предположить, что проживающее на данной территории население подвержено рискам развития различных болезней, ассоциированных с селенодефицитом. Установлена корреляционная связь содержания селена в яровой мягкой пшенице *Triticum aestivum* с марганцем ($r = -0,6$), кобальтом ($r = -0,6$), цинком ($r = 0,7$), медью, ($r = -0,5$), свинцом ($r = 0,7$), ртутью ($r = -0,6$), кадмием ($r = -0,6$), мышьяком ($r = -0,6$), нитратами ($r = -0,6$) и цезием-137 ($r = 0,5$) ($p \leq 0,05$ во всех случаях).

Одним из способов оптимизации содержания селена в системе почва–растение–животное–(человек) являются методы агрохимической биофортификации сельскохозяйственных растений. В связи с недостатком содержания селена в компонентах окружающей среды применение методов агрохимической биофортификации сельскохозяйственных растений в границах юга Тюменской области является актуальным направлением. С 2022 по 2023 гг. на базе лаборатории экологического мониторинга Тюменского государственного университета проведены микровегетационные опыты для оценки аккумуляции и действия селена в системе почва–растение. Селен в

виде селенита и селената натрия вносился в почву (чернозем выщелоченный, лугово-черноземная, темно-серая лесная) в дозах 0,5 ПДК селена (5 мг/кг), 1 ПДК (10 мг/кг) и 2 ПДК (20 мг/кг). Предельно допустимая концентрация для расчёта доз принята по Kloke A. (1980) 10 мг/кг. На удобренной почве проращивали растения яровой мягкой пшеницы сорта Памяти Азиева в течение трёх недель. Селен наиболее интенсивно накапливается при применении селената натрия в лугово-чернозёмной почве: от 0,08 мг/кг (на контрольном варианте) до 20 мг/кг (при внесении дозы 20 мг/кг); содержание селена в растениях пшеницы в зависимости от доз и форм применяемого Se составляет от 1 до 15 мг/кг; внесение селенсодержащих удобрений может оказывать как благоприятный, так и угнетающий эффект в зависимости от формы и дозы соединений селена. При внесении селенита натрия отмечается стимулирующий эффект, при этом содержание селена в почве составляет от 0,5 до 12,3 мг/кг. Однако при применении селената натрия фитотоксический эффект отмечается при содержании свыше 1,15 мг/кг в тёмно-серой лесной почве, 1,73 мг/кг в чернозёме выщелоченном, 3,7 мг/кг и в лугово-чернозёмной почве.

4. По результатам комплексной геоэкологической оценки компоненты окружающей среды территории юга Тюменской области можно отнести к селенодефицитным.

Важным с теоретической, а также с практической точки зрения является определение содержания селена не только в отдельном компоненте окружающей среды с последующей оценкой его избытка или недостатка, но и его переход из одного компонента окружающей среды в другой. Коэффициент перехода рассчитывался по следующей формуле:

$$Kdse = \frac{Secpд.(компонент OC1)}{Secpд.(компонент OC2)}$$

Данная схема расчета представляет собой упрощённую модель, рассматривающую принцип миграции селена между компонентами окружающей среды, однако она не учитывает индивидуальные характеристики территории, влияющие на его миграцию между средами, показывая только общую специфику миграции. Коэффициент перехода оценивался следующим образом: менее 1 – слабый переход, более 1 – сильный переход. По результатам расчетов коэффициента перехода определен слабый переход в системах: континентальные отложения – донные отложения, донные отложения – вода; по коэффициентам биологического накопления в системе почва – сельскохозяйственная растительность. Таким образом, можно сделать вывод о слабом переходе селена между изучаемыми средами. Миграция селена, где $Kdse > 1$, определена в системах: континентальные отложе-

ния – зональные почвы, континентальные отложения – интразональные почвы, вода – интразональные почвы.

В качестве критериев оценки содержания селена в компонентах окружающей среды были использованы методы и классификации, предложенные отечественными и зарубежными учеными. Так, по результатам оценки установлено следующее: содержание селена в отложениях Кутанбулакской свиты, зональных и интразональных почвах по классификации J. Tan (2002) относится к областям маргинальной недостаточности и областям селенодефицита. Содержание селена находится ниже или в диапазоне кларков, предложенных А.П. Виноградовым (1957) и Н.А. Григорьевым (2009). Содержание селена в воде ниже ПДК воды, используемой в хозяйственно-бытовых целях и рыбохозяйственной деятельности. По шкале экологического нормирования (Евдокимова В.Л. и др., 2016) содержание селена в воде можно отнести к категории «низкое». По классификации В.В. Ермакова и В.В. Ковальского (1974) пшеница, произрастающая на почвах юга Тюменской области, относится к первой группе – к растениям, слабо аккумулирующим селен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Содержание селена в континентальных отложениях кутанбулакской свиты варьируется в интервале от 0,01 до 0,29 мг/кг. Максимальное содержание селена в стратиграфическом разрезе выявлено в отложениях озерно-аллювиального генезиса.

2. Латеральное перемещение селена в профиле почвы долин рек Бабырки и Канырки выявлено в горизонте A_1 на глубине 0-10 см. Аккумуляция селена происходит в трансаккумулятивном ландшафте вне зависимости от типа почв.

3. По содержанию селена вода водотоков и водоемов юга Тюменской области относится к категории «низкого содержания». Распределение селена в системе вода–донные отложения рек зависит от гидрологического сезона: увеличение содержания микроэлемента в воде обнаружено в период весеннего половодья за счет его переноса поверхностным стоком талых вод, а в донных отложениях – в период осенней межени. В среднем содержание селена в воде и донных отложениях водоемов антропогенного происхождения в два раза больше, чем в водоемах природного. Неравномерное распределение селена в системе вода–донные отложения объясняется типом питания, фазой водного режима, а также основными физико-химическими параметрами воды водоемов.

4. По содержанию селена в аккумулятивном горизонте, почвы юга Тюменской области относятся к категории «селенодефицита» с зонами «маргинальной недостаточности» и «области оптимума». Значительных отличий в зависимости от типа почв и степени антропогенной нагрузки не установлено. В вертикальном распределении микроэлемента его аккумуляция происходит в гумусовом горизонте, а также в горизонтах, граничащих с почвообразующей породой, из-за смены гранулометрического состава и плотности горизонта.

5. Содержание селена в яровой мягкой пшенице является недостаточным с биогеохимической точки зрения. Установлена корреляционная связь содержания селена в яровой мягкой пшенице *Triticum aestivum* со свинцом, цинком, марганцем, медью, ртутью, кадмием, нитратами, цезием-137. Внесение селенсодержащих удобрений может оказать как благоприятный, так и угнетающий эффект в зависимости от формы и дозы соединений селена. При внесении селенита натрия отмечается стимулирующий эффект, при этом содержание селена в почве составляет от 0,5 до 12,3 мг/кг. Однако при применении селената натрия, фитотоксический эффект отмечается при содержании свыше 1,15 мг/кг в тёмно-серой лесной почве, 1,73 мг/кг в чернозёме выщелоченном, 3,7 мг/кг в лугово-чернозёмной почве.

6. По характеру перехода селена между компонентами окружающей среды можно выделить две зоны: первая – зона активной миграции селена (континентальные отложения – почвы, поверхностные воды – интразональные почвы (пойменно-дерновые и аллювиально-луговые), вторая – с менее выраженной или почти отсутствующей миграцией (континентальные отложения – поверхностные и подземные воды; донные отложения – вода; почва – растения). По содержанию селена компоненты окружающей среды юга Тюменской области относятся к категории «селенодефицитных».

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

**Статьи в научных изданиях из перечня ВАК, публикации,
индексируемые в WoS / Scopus:**

1. Синдирева, А.В. Геохимическая оценка содержания селена в основных типах почв Тюменской области / А.В. Синдирева, С.Г. Котченко, **Н.Е. Гурьев** // Проблемы региональной экологии. 2021. № 3. С. 32-38.
2. Синдирева, А.В. Геохимическая оценка содержания селена в системе «почва-растение» в условиях Селенгинского аймака севера Монголии / А.В. Синдирева, Э. Эрдэнэцогт, **Н.Е. Гурьев** // Проблемы региональной экологии. 2022. № 2. С. 67-74.
3. Синдирева, А.В. Факторы, влияющие на содержание селена в серых лесных почвах и сельскохозяйственных культурах юга Тюменской области / А.В. Синдирева, **Н.Е. Гурьев** // Социально-экологические технологии. 2022. Т. 12. № 4. С. 439-458.
4. Синдирева, А.В. Эколого-биогеохимическая оценка аккумуляции селена в растениях яровой пшеницы в условиях микровегетационного опыта / А.В. Синдирева, М.Д. Айтбаев, **Н.Е. Гурьев** // Теоретическая и прикладная экология. 2025. № 3. С. 106–118.

Материалы конференций, публикации, индексируемые в РИНЦ:

5. Синдирева, А.В. Интегральный подход к нормированию действия селена в системе почва-растение-животные для разработки научно-обоснованной профилактики микроэлементов в регионах России и Монголии / А.В. Синдирева, Э. Эрдэнэцогт, Н.А. Голубкина, **Н.Е. Гурьев**. Омск: Издательский центр КАН, 2024. 244 с.
6. Экологическая ситуация в городе Тюмени / Коллектив авторов [А.В. Синдирева, В.А. Боев, С.Н. Гашев, **Н.Е. Гурьев** и др.]. Тюмень: АО «Тюменский дом печати», 2026. 400 с.
7. Синдирева, А.В. Содержание селена и йода в поверхностной воде водных объектов юга Тюменской области / А.В. Синдирева, **Н.Е. Гурьев** // Экология - 2022: оборудование, технологии, решения: сборник статей участников I Экологического водного форума Южного Урала, Челябинск, 24–25 июня 2022 года. Челябинск: Челябинский государственный университет, 2022. С. 42-51.
8. Синдирева, А.В. Влияние геолого-геоморфологических факторов на распределение селена в компонентах окружающей среды / А.В. Синдирева, Н.Ф. Чистякова, **Н.Е. Гурьев**, Н.С. Ткаченко // Почвы и окружающая среда [электронный ресурс]: сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (2-6 октября 2023 г., г. Новосибирск). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 663-668.
9. Синдирева, А.В. Влияние селена на начальные показатели роста и развития яровой мягкой пшеницы, выращенной на типичных зональных почвах юга Тюменской области / А.В. Синдирева, Б.А. Кокчебаев, **Н.Е. Гурьев** // [электронный ресурс]: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции

«Инновации в охране окружающей среды для устойчивого социально-экономического развития: Глобальное и Евразийское партнерство», посвященное 30-летию Независимости Республики Казахстан (26 ноября, 2021 г., Кокшетау). Кокшетау: Университет Кокшетау, 2021. С. 133-138.

10. Синдирева, А.В., Гурьев, Н.Е. Геохимические факторы, влияющие на аккумуляцию селена в почвах и растениях юга Тюменской области / Современное развитие биогеохимических идей В.И. Вернадского: Труды Международной научной конференции, посвященной 160-летию со дня рождения В.И. Вернадского и 100-летию его статьи «Начало и вечность жизни». [Электронный ресурс]. Москва: Неправительственный экологический фонд имени В.И. Вернадского. 2023. С. 168-189.

11. Синдирева, А.В., Гурьев, Н.Е. Геохимические факторы, оказывающие влияние на содержание и распределение селена в профиле серых лесных почв юга Тюменской области / Проблемы геохимической экологии в условиях техногенеза биосферы: материалы XIV Международной Биогеохимической школы-конференции, г. Томск, 15–20 сентября 2025 г. / под ред. Н.В. Барановской, Н.С. Безаевой, Б.Р. Соктоева, В.А. Сафонова. Томск: STT, 2025. С. 475-478.

Подписано в печать 30.09.2026. Тираж 100 экз.
Объем 1,0 уч.-изд. л. Формат 60×84/16. Заказ 220.

ТюмГУ-Пресс
625003, г. Тюмень, ул. Володарского, 6.
Тел.: (3452) 59-75-34, 59-74-81
E-mail: izdatelstvo@utmn.ru