

ЭКОЛОГО-АГРОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА

Канзываа С.О.¹, Санчай-оол Б.В.¹, Куулар Э.-С.А.¹, Кужугетова Ш.К.¹

¹Тувинский государственный университет, Кызыл, Россия, kanzyvaa73@mail.ru

Аннотация. Данной работе представлены результаты исследований по изучению содержания тяжелых металлов в почвах лесных массивов Тандынского района Республики Тыва. Представлены потенциальные источники загрязнения почв тяжелыми металлами. Всего исследованы почвы около 5 населенных пунктов района. Отмечается неоднородность почвенного плодородия, содержание гумуса варьирует от 1,97 до 5,97 %. По содержанию подвижных форм Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Co почвы Тандынского района можно охарактеризовать как незагрязненные.

Ключевые слова: почва, источник загрязнения, тяжелые металлы, содержание, допустимый уровень

ВВЕДЕНИЕ

Почвенный покров является центральным звеном биогеоценозов, определяя их продуктивность, устойчивость и способность противостоять антропогенным нагрузкам [1, 2]. Одной из наиболее серьезных современных угроз в экологии является загрязнение почв тяжелыми металлами. Республика Тыва обладает значительными лесными ресурсами, имеющими огромное природоохранное, ресурсное и социально-культурное значение. В республике есть отдаленные районы, где антропогенное воздействие минимальное, а есть районы с максимальным воздействием, и одним из таких районов является Тандынский район.

Цель работы - изучение плодородия и содержания тяжелых металлов в почвах лесных массивов Тандынского района.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на почвах Тандынского района, расположенного в лесостепной зоне Республики Тыва. Для оценки геохимического состава верхнего слоя почвогрунтов почвенные образцы отбирали согласно ГОСТ 17.4.4.02-84. Места отбора проб определяли согласно Методическим указаниям 2.1.7.730-99. Пробные площадки закладывали: 1) под пологом леса (лес 1, лес 2 – около с. Бай-Хаак, лес 3, лес 4 – около с. Сосновка, лес 5 – около с. Дурген); 2) на лесных опушках вблизи с. Успенка; 4) на расстоянии 100 м от автодороги с интенсивной транспортной нагрузкой в летнее время недалеко от с. Бай-Хаак; 5) на расстоянии 120 м от массово посещаемых населением и гостями республики озер Хадын (южная сторона) и Чагытай (северная сторона).

Почвенные образцы отбирались из слоя 0-10 см. Для оценивания плодородия почвы определяли pH солевой вытяжки (pH_{KCl}), гумус по Тюрину, подвижный фосфор (P_2O_5) и обменный калий (K_2O) по Мачигину, методом атомно-абсорбционной спектроскопии определяли содержание подвижных форм тяжелых металлов: Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Mn.

По морфологическим признакам почвы около с. Бай-Хаак, с. Дурген относятся к чернозему обыкновенному, легкосуглинистые на лессовидном карбонатном суглинке. Почва вблизи с. Сосновка темно-каштановая, среднесуглинистая на аллювиальных отложениях, вблизи с. Успенка лугово-каштановая, супесчаная на аллювиальных отложениях, около оз. Чагытай чернозем обыкновенный среднемощный

легкосуглинистый на делювиально-пролювиальных суглинистых отложениях, около оз. Хадын каштановая, преобладающе супесчаная, нередко щебнистые.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Природно-климатические условия.

Географически территория Тандынского района входит в Тувинскую межгорную котловину и с южной стороны граничит по линии водораздела хребта Восточный Танну-Ола. В котловине и предгорьях лесничества распространены черноземы обыкновенные, выщелоченные и темно-каштановые почвы. Основные лесообразующие породы Тандынского лесничества – лиственница сибирская (*Larix sibirica*), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), береза повислая (*Betula pendula*), осина (*Populus tremula*). В поймах рек встречаются тополь и ива.

Климат Республики Тыва – резко континентальный. Морозная, продолжительная и малоснежная зима. Средние температуры января составляют -25...-35 °С. Глубокое промерзание почвы (часто до 2-3 м) и наличие островов многолетней мерзлоты (особенно в горных районах и на северных склонах) существенно влияют на почвенные процессы, замедляя биологическую активность и миграцию веществ в почвенном профиле. Высота снежного покрова не более 20-24 см, а в снежные зимы может достигать 30-40 см. Лето короткое, жаркое, а зачастую засушливое со средней температурой июля +18...+20 °С и максимальной температурой воздуха до 35...+40 °С. Годовая сумма осадков в котловине составляет всего 180-300 мм, основная часть которых приходится на летний период. Основное направление ветра приходится с северо-восточной, восточной, а в зимнее время, с северной стороны, что составляет 43 % повторяемости направлений ветра за год.

Антропогенные факторы, влияющие на накопление ТМ в почве.

Численность постоянного населения Тандынского района по состоянию на 01.01.2025 года составляет 15 206 человек. Однако, несмотря, на относительно низкую плотность населения района, территория Тандынского района наиболее подвержена антропогенному воздействию. Существуют следующие потенциальные источники антропогенного поступления ТМ:

1. Близость к г. Кызылу: Столица республики является основным промышленным и транспортным узлом. Выбросы Кызылской ТЭЦ, автотранспорта, промышленных предприятий (Кирпичный завод, Каа-Хемский угольный разрез и т.д.), выбросы сжигания ТБО на полигоне и коммунального сектора могут переноситься воздушными массами и осаждаться на территории прилегающего с южной стороны Тандынского района. На территории самого района находится крупное месторождение каменного угля – Межегейское.

2. Транспортная сеть: региональная автодорога Кызыл – Эрзин, с интенсивным транспортным потоком, проходит через Тандинский кожуун. Данная трасса связывает район с одной стороны с Абаканом и Красноярском, а с другой – связывает Южную Сибирь с Монголией. Возможно загрязнение почв и растительности ТМ от выхлопных газов автотранспорта. Также существует сеть местных дорог.

3. Наличие на территории района массово посещаемых населением и гостями республики озер таких как – Чагытай, Чежер, Хадын, Дус-Холь.

4. Населенные пункты: административный центр района – село Бай-Хаак – и другие поселения являются источниками ТМ от печного отопления (сжигание угля), автотранспорта, несанкционированных свалок бытовых отходов.

5. Лесозаготовки и лесные пожары: использование техники при лесозаготовках может приводить к локальному загрязнению ГСМ и металлами. Антропогенные лесные пожары, частота которых может возрастать, приводят к высвобождению и перераспределению ТМ.

Одной из причин аккумуляции тяжелых металлов в почве являются воздушные массы, которые разносят выбрасываемые в атмосферу тонкодисперсные аэрозоли. Например, сжигание топлива приводит к загрязнению атмосферы Mn, Ni, Cr, Cu, Sb, Se,

V, Zn. Оксиды и сульфиды тяжелых металлов осаждаются на удалении от промышленных предприятий. Низкое же количество осадков, которое наблюдается на территории Тувы, ограничивает вымывание ТМ из почвенного профиля, способствуя их накоплению [3].

Агентство по туризму Республики Тыва ежегодно проводит статистику отдыхающих людей на самых популярных у местных и приезжих туристов озерах Тувы: Дус-Холь, Хадын, Чагытай и Торе-Холь. Согласно подсчетам Агентства, за 2024 год Дус-Холь посетили 73861 раз, Чагытай - 28276 раз, Торе-Холь - 16 225 раз. Самое массовое посещение людей за летний сезон отмечается на озере Хадын, где отдохнули 160297 человек.

Агрохимическая оценка почв Тандынского района.

Результаты агрохимического анализа почв показывают неоднородность почвенного покрова (табл. 1). Самое высокое содержание органического вещества отмечается в почве лесных массивов около с. Бай-Хаак, Дурген, самое низкое содержание в почве около с. Успенки. Содержание обменного кальция на всех почвах высокое (24.0-89.0 ммоль/100г), что коррелирует со щелочной реакцией почв. Содержание азота как в аммонийной форме, так и нитратной, обменного калия, подвижного фосфора находится на уровне от низкой до средней обеспеченности.

Таблица 2 - Агрохимические показатели почв лесных массивов Тандынского района

| п/п | Место отбора | pH KCl | Орг. вещ-во, % | P ₂ O ₅ , мг/кг | K ₂ O, мг/кг | Ca ²⁺ , ммоль/100 г | NH ₄ ⁺ -N, млн ⁻¹ | Щел. гидр. азот, мг/кг | Нитраты, мг/кг |
|-----|--------------|--------|----------------|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|--|------------------------|----------------|
| 1 | Лес 1 | 7,7 | 5,69 | > 60 | > 600 | 57,5 | 2,82 | 83 | 12,9 |
| 2 | Лес 2 | 8,0 | 2,02 | 16,5 | 104 | 31,5 | 3,55 | 88 | 33,1 |
| 3 | Лес 3 | 8,1 | 1,97 | 12,4 | 82 | 30,0 | 2,74 | 86 | 6,0 |
| 4 | Лес 4 | 8,0 | 2,16 | 15,5 | 94 | 26,0 | 3,12 | 82 | 3,5 |
| 5 | Лес 5 | 8,1 | 6,18 | > 60 | > 600 | 89,0 | 2,75 | 83 | 13,5 |
| 6 | с. Успенка | 7,5 | 1,97 | 10,0 | 71 | 30,0 | 1,22 | 123 | 17,0 |
| 7 | с. Бай-Хаак | 7,8 | 5,76 | 22,0 | 119 | 33,0 | 2,41 | 68 | 27,5 |
| 8 | с. Дурген | 7,7 | 5,97 | 25,0 | 101 | 36,0 | 1,59 | 70 | 5,9 |
| 9 | оз. Хадын | 7,9 | 3,36 | 27,5 | 112 | 25,5 | 1,33 | 96 | 11,8 |
| 10 | оз. Чагытай | 8,0 | 3,67 | 19,6 | 115 | 24,0 | 1,90 | 98 | 6,2 |

На обследованных территориях, включая как условно-фоновые участки "Лес", так и зоны вблизи населенных пунктов (с. Бай-Хаак, с. Дурген, с. Успенка, оз. Хадын, оз. Чагытай), не выявлено опасного уровня загрязнения почв подвижными формами тяжелых металлов (табл. 2). На участках вблизи населенных пунктов Бай-Хаак, Дурген и оз. Хадын отмечено некоторое увеличение содержания подвижных форм Cd и Zn. На наш взгляд, на увеличение содержания подвижных форм Cd и Zn повлияли локальные источники загрязнения такие как, выхлопные газы автотранспорта, неорганизованные свалки, зольные отходы. Тем не менее они не приводят к формированию уровней загрязнения, представляющих непосредственную угрозу окружающей среде. На всех участках содержание подвижных форм тяжелых металлов ниже уровня предельно допустимой концентрации.

Таблица 3 - Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах лесных массивов Тандынского района в 2024 г., мг/кг

| п/п | Место отбора | Cd | Pb | Zn | Cu | Ni | Co |
|-----|--------------|-------|------|------|------|------|------|
| 1 | Лес 1 | 0,042 | 0,69 | 1,31 | 0,20 | 1,09 | 0,09 |
| 2 | Лес 2 | 0,033 | 0,60 | 0,57 | 0,15 | 0,47 | 0,18 |
| 3 | Лес 3 | 0,031 | 0,49 | 0,41 | 0,13 | 0,39 | 0,13 |
| 4 | Лес 4 | 0,040 | 0,55 | 0,50 | 0,16 | 0,42 | 0,07 |
| 5 | Лес 5 | 0,036 | 0,61 | 0,88 | 0,18 | 0,51 | 0,08 |

| | | | | | | | |
|----|-------------|-------------|------------|-----------|------------|------------|------|
| 6 | с. Успенка | 0,025 | 0,42 | 0,30 | 0,11 | 0,31 | 0,10 |
| 7 | с. Бай-Хаак | 0,059 | 0,56 | 0,92 | 0,19 | 0,50 | 0,12 |
| 8 | с. Дурген | 0,050 | 0,61 | 0,78 | 0,17 | 0,48 | 0,09 |
| 9 | оз. Хадын | 0,068 | 0,65 | 1,15 | 0,20 | 0,55 | 0,10 |
| 10 | оз. Чагытай | 0,046 | 0,62 | 0,52 | 0,15 | 0,44 | 0,09 |
| 11 | ПДК | 0.15 | 3.0 | 23 | 1.5 | 2.0 | - |

Ключевым фактором низкого содержания подвижными формами ТМ, является щелочная реакция среды почв (pH_{KCl} 7.5-8.1). В щелочных условиях катиогенные металлы (Pb^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+}) склонны к образованию малорастворимых гидроксидов, карбонатов, фосфатов и прочно сорбируются на почвенных коллоидах (глинистые минералы, органическое вещество, гидроксиды Fe/Mn) [4]. Это резко снижает их миграционную способность и биодоступность. Высокое содержание обменного кальция почвах может дополнительно снижать поглощение некоторых подвижных форм ТМ (например, Cd) растениями. Высокое содержание гумуса (Бай-Хаак, Дурген, оз. Хадын, Лес 1, Лес 5) способствует связыванию ТМ за счет комплексообразования и сорбции. В почвах Тандынского района отмечается, что даже на участках с низким содержанием органики щелочная реакция эффективно иммобилизует металлы.

По литературным источникам был проведен сравнительный анализ содержания подвижных форм ТМ в верхнем слое почвы соседних регионов [5, 6, 7, 8, 9, 10]. Было выявлено, что наиболее загрязненной территорией является промышленная зона г. Красноярск (табл. 4). На втором месте стоит близлежащая территория Кедровского угольного разреза Кемеровской области. Выявлено, что разработка угольных месторождений неизбежно приводит к загрязнению почв, в частности, за счет выщелачивания ТМ из угольных отвалов и пыления угольной пыли, богатой микроэлементами. В почвах же Тандынского района отмечается большее содержание Zn, Ni, Co по сравнению с содержанием данных металлов в почвах Республики Хакасия и Кемеровской области.

Таблица 4. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах сопредельных территорий Восточной Сибири, мг/кг

| Наименование тяжелых металлов | Республика Тыва | | Красноярский край, г. Красноярск | Республика Хакасия (среднее по республике) | Кемеровская область | | ПДК |
|-------------------------------|------------------------|---------------------------|----------------------------------|--|---------------------|-----------------------------|---------|
| | Тандынский район. 2024 | Бай-Тайгинский район 2015 | | | Среднее по области | Кедровский угольный разрез" | |
| цинк | 0,734 | 0,59 | 38,05 | 0,358 | 0,06 | 4,11 | 23,0 |
| никель | 0,516 | - | 16,68 | 0,29 | 0,28 | 1,64 | 4,0 |
| медь | 0,164 | 0,47 | 13,87 | 0,18 | 0,03 | 0,139 | 3,0 |
| свинец | 0,58 | 1,75 | 7,74 | 0,8 | 0,24 | 1,89 | 6,0 |
| кадмий | 0,043 | 0,09 | 0,13 | 0,052 | 0,09 | 0,206 | 0,5-2,0 |
| кобальт | 0,105 | - | 6,01 | 0,087 | 0,17 | 0,57 | 5,0 |

Важно не только определить содержание ТМ в почве на данный момент, а также проследить динамику их возрастания или убывания в почве по времени. Содержание подвижных форм ТМ в почвах Тандынского района ранее изучали М.Ф. Андрейчиком [11] и В.И. Жуланова [12]. Так из рисунка 1 видно, что содержание суммы подвижных форм ТМ с 1997 г. до 2009 году увеличивается на 60-70 %, затем идет к снижению. Увеличение содержания подвижных форм ТМ в почве произошло, скорее всего из-за процессов дефляции почв, которой подвержены почвы республики. Снижение же содержания ТМ в почве обусловлено процессами самоочищения почв, такими как

вымывание, сорбция или связывание ТМ в менее подвижные формы. Процесс вымывания могло быть в 2018-2020 гг., когда по Туве наблюдалось увеличение количества выпавших осадков почти в 2 раза до 430 мм, а высокое содержание гумуса 5,69-5,76 % в почвах с. Сосновка и Бай-Хаак способствовало процессу связывания ТМ в менее подвижные формы. Исключением является возрастающая динамика содержания цинка и никеля в почвах, расположенных в непосредственной близости от с. Сосновка. Этот факт требует отдельного и более детального изучения, поскольку может указывать на специфический источник загрязнения, связанный с хозяйственной деятельностью вблизи села, например, утилизация отходов.

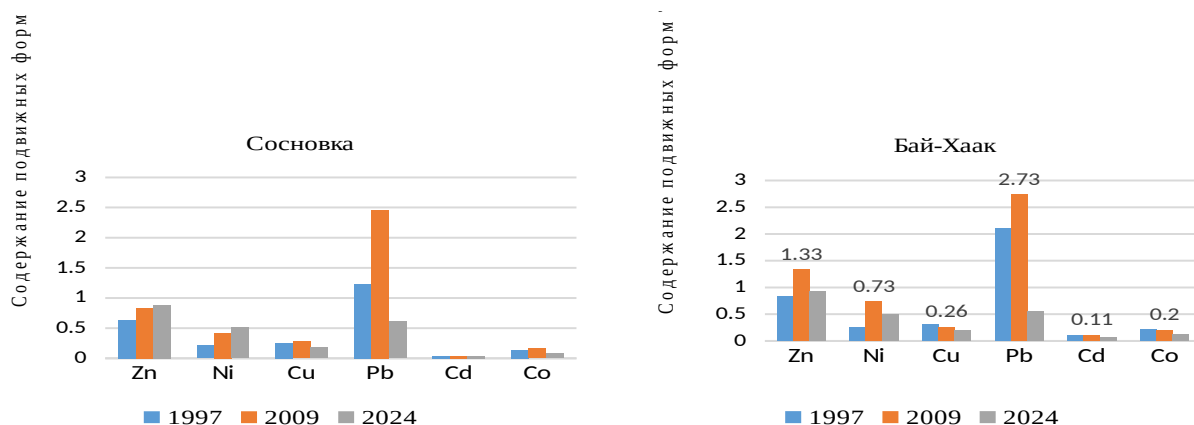


Рисунок 1. Динамика содержания подвижных форм тяжелых металлов в почвах Тандынского района Республики Тыва

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что почвы Тандынского района характеризуются неоднородностью почвенного плодородия. В почвах около с. Бай-Хаак и Дурген содержание НРК очень высокое, а в почвах около с. Сосновка и Успенка низкое. Содержание подвижных форм ТМ в почвах Тандынского района значительно ниже ПДК, что свидетельствует об отсутствии опасного загрязнения почв биодоступными формами тяжелых металлов.

ИНФОРМАЦИЯ О ФИНАНСИРОВАНИИ

Результаты исследований, представленные в статье, получены в рамках государственного задания № 075-03-2025-399/4 тема «Разработка адаптивной технологии возделывания зерновых бобовых культур в условиях Республики Тыва».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукина, Н. В. Биоразнообразие и климаторегулирующие функции лесов: актуальные вопросы и перспективы исследований [Электронный ресурс] / Н.В. Лукина, А.П. Гераськина, А. В. Горнов и др. – Вопросы лесной науки. – Электронный журнал – 2020. – № 4. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/bioraznoobrazie-i-klimatoreguliruyuschie-funktsii-lesov-aktualnye-voprosy-i-perspektivy-issledovaniy> (дата обращения: 08.06.2025).
2. Водяницкий, Ю. Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах [текст] / ред. Ю. Н. Водяницкий – М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии – 2008. – 292 с.
3. Сердюкова, А. Ф. Последствия загрязнения почвы тяжелыми металлами [Электронный ресурс] / А. Ф. Сердюкова, Д. А. Барабанщиков. // Молодой ученый. – 2017. – № 51 (185). – С. 131-135. – Режим доступа : <https://moluch.ru/archive/185/47382/> (дата обращения 20.05.2025).
4. Мазур, В. В. Особенности переноса тяжелых металлов воздушными массами [Электронный ресурс] / В.В. Мазур. – Вестник Сыктывкарского университета. – Серия

2. Биология, геология, химия, экология. – 2022. – № 3 (23). – С. 7885. Режим доступа <https://doi.org/10.34130/2306-6229-2022-3-78> (дата обращения 22.05.2025).
5. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Хакасия в 2021 году» [Электронный ресурс] – Абакан, 2022. – 187 с. Режим доступа : <https://adm-birikchul.ru/wp-content/uploads/2023/05/Gosdoklad-2021-2.pdf> (дата обращения 22.05.2025).
6. Чысыма, Р.Б., Кузьмина Е.Е. Экологическая безопасность пастбищных кормов Республики Тыва // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 12-5. С. 867-870; URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=8042> (дата обращения: 25.08.2025).
7. Зазнобина, Т.В. Содержание тяжелых металлов в почвах пригородной зоны г. Красноярска [текст] / Т.В. Зазнобина, О.В. Иванова, Е.В. Алхименко – Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. – 2019. № 2 – С. 59-69.
8. Сергеев, А.П. Тяжелые металлы в почвах Минусинской лесостепной зоны Красноярского Края [Электронный ресурс] / А.П. Сергеев, Т.Я. Липатникова, Е.И. Волошин // Плодородие №3•2017. – С. 28-31. Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/tyazhelye-metally-v-pochvah-minusinskoy-lesostepnoy-zony-krasnoyarskogo-kraya/viewer> (дата обращения 22.05.2025)
9. Овсяникова, С.В. Загрязнение окружающей среды и динамика содержания тяжелых металлов в почвах (на примере Кемеровской области) [Текст] // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. 2010. № 3. – С.184-185.
10. Яковченко, М.А. Исследование содержания тяжелых металлов в почвенном покрове и изучение растительности на территориях угольных предприятий Кемеровской области [Текст] / М.А. Яковченко, А.А. Косолапова – Материалы IV Молодежного Экологического Форума «Проблемы комплексного освоения полезных ископаемых» 29-30 октября 2019 года – Кемерово, Кузбасский ГАУ, 2019. – С. 11-15.
11. Андрейчик, М.Ф. Загрязнение атмосферы, почв и вод Республики Тыва [текст] / М.Ф. Андрейчик – Томск: Томский госуниверситет, 2005 – 400 с.
12. Жуланова, В.Н. Агрогенная эволюция почв Тувы: монография [текст] / В.Н. Жуланова – Кызыл: Изд-во ТувГУ, 2016. – 232 с.

REFERENCES

1. Lukina, N. V. Bioraznoobrazie i klimatoreguliruyushchie funktsii lesov: aktual'nye voprosy i perspektivy issledovaniy [Elektronnyi resurs] / N.V. Lukina, A.P. Geras'kina, A. V. Gornov i dr. – Voprosy lesnoi nauki. – Elektronnyi zhurnal – 2020. – № 4. – Rezhim dostupa : <https://cyberleninka.ru/article/n/bioraznoobrazie-i-klimatoreguliruyushchie-funktsii-lesov-aktualnye-voprosy-i-perspektivy-issledovaniy> (data obrashcheniya: 08.06.2025).
2. Vodyanitskii, YU. N. Tyazhelye metally i metalloidy v pochvakh [tekst] / red. YU. N. Vodyanitskii – M.: GNU Pochvennyi institut im. V.V. Dokuchaeva Rossel'khozakademii – 2008. – 292 s.
3. Serdyukova, A. F. Posledstviya zagryazneniya pochvy tyazhelymi metallami [Elektronnyi resurs] / A. F. Serdyukova, D. A. Barabanshchikov. // Molodoi uchenyi. – 2017. – № 51 (185). – S. 131-135. – Rezhim dostupa : <https://moluch.ru/archive/185/47382/> (data obrashcheniya 20.05.2025).
4. Mazur, V. V. Osobennosti perenosa tyazhelykh metallov vozduzhnymi massami [Elektronnyi resurs] / V.V. Mazur. – Vestnik Syktyvskarskogo universiteta. – Seriya 2. Biologiya, geologiya, khimiya, ehkologiya. – 2022. – № 3 (23). – S. 7885. Rezhim dostupa <https://doi.org/10.34130/2306-6229-2022-3-78> (data obrashcheniya 22.05.2025).
5. Gosudarstvennyi doklad «O sostoyanii okruzhayushchei sredy Respubliki Khakasiya v 2021 godU» [Elektronnyi resurs] – Abakan, 2022. – 187 s. Rezhim dostupa : <https://adm-birikchul.ru/wp-content/uploads/2023/05/Gosdoklad-2021-2.pdf> (data obrashcheniya 22.05.2025).

6. Chysyma, R.B., Kuz'mina E.E. Ehkologicheskaya bezopasnost' pastbishchnykh kormov Respubliki Tyva // Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. 2015. № 12-5. S. 867-870; URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=8042> (data obrashcheniya: 25.08.2025).
7. Zaznobina, T.V. Soderzhanie tyazhelykh metallov v pochvakh prigorodnoi zony g. Krasnoyarska [tekst] / T.V. Zaznobina, O.V. Ivanova, E.V. Alkhimenko – Vestnik PNIPU. Prikladnaya ehkologiya. Urbanistika. – 2019. № 2 – S. 59-69.
8. Sergeev, A.P. Tyazhelye metally v pochvakh Minusinskoi lesostepnoi zony Krasnoyarskogo Kraya [Elektronnyi resurs] / A.P. Sergeev, T.YA. Lipatnikova, E.I. Voloshin // Plodorodie №3•2017. – S. 28-31. Rezhim dostupa : <https://cyberleninka.ru/article/n/tyazhelye-metally-v-pochvah-minusinskoy-lesostepnoy-zony-krasnoyarskogo-kraja/viewer> (data obrashcheniya 22.05.2025)
9. Ovsyanikova, S.V. Zagryaznenie okruzhayushchei sredy i dinamika soderzhaniya tyazhelykh metallov v pochvakh (na primere Kemerovskoi oblasti) [tekst] // Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPBGPU. Nauka i obrazovanie. 2010. № 3. – S.184-185.
10. Yakovchenko, M.A. Issledovanie soderzhaniya tyazhelykh metallov v pochvennom pokrove i izuchenie rastitel'nosti na territoriyakh ugol'nykh predpriyatii Kemerovskoi oblasti [Tekst] / M.A. Yakovchenko, A.A. Kosolapova – Materialy IV Molodezhnogo Ehkologicheskogo Forumu «Problemy kompleksnogo osvoeniya poleznykh iskopaemykh» 29-30 oktyabrya 2019 goda – Kemerovo, Kuzbasskii GAU, 2019. – S. 11-15.
11. Andreichik, M.F. Zagryaznenie atmosfery, pochv i vod Respubliki Tyva [tekst] / M.F. Andreichik – Tomsk: Tomskii gosuniversitet, 2005 – 400 s.
12. Zhulanova, V.N. Agrogennaya ehvolyutsiya pochv Tuvy: monografiya [tekst] / V.N. Zhulanova – Kyzyl: Izd-vo TuVGU, 2016. – 232 s.