

# Геохимические факторы, влияющие на содержание и миграцию естественных и техногенных радионуклидов в почвах Упоровского района Тюменской области

С санитарно-гигиенической точки зрения необходимо изучать не только химический состав почв (макро- и микроэлементы), но и содержание естественных и техногенных радионуклидов вне зависимости от техногенной нагрузки на территорию. В работе выделены и проанализированы зоны аккумуляции и рассеивания естественных и техногенных радионуклидов в профиле исследуемых почв агроценозов и условно фоновых темно-серых лесных почв, а также обозначен характер их взаимодействия с макро- и микроэлементами. Удельная эффективная активность естественных ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) и техногенных ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) радионуклидов в профиле почв агроценозов и темно-серых лесных почв Упоровского района Тюменской области соответствует действующим нормам.

## **Ключевые слова:**

*естественные радионуклиды, техногенные радионуклиды, макроэлементы, микроэлементы, почвы, юг Тюменской области.*

**Н.Е.Гурьев<sup>1</sup>, А.В.Синдирева<sup>1</sup>,  
Н.С.Котченко<sup>2</sup>, П.А.Андреев<sup>3</sup>,  
П.Е.Ляпина<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», г. Тюмень

<sup>2</sup> ФГБУ ЦАС «Тюменский», г. Тюмень

<sup>3</sup> ООО «Сервисная Нефтяная Компания», г. Тюмень

**В**се живое на земле подвергается естественному радиационному облучению. Естественный радиационный фон, как правило, не представляет опасности для живых организмов, но под влиянием деятельности человека данный фактор может существенно усиливаться. Помимо миграции радионуклидов вглубь почвы происходит их аккумуляция в растения через корневую систему. Различные травы, обогащенные радионуклидами, потребляемые живыми существами, в дальнейшем становятся источником внутреннего облучения организмов животных и, как следствие, людей [2].

Содержание естественных радионуклидов в почвах во многом обусловлено их наличием в почвообразующих породах. Почвы, развитые на кислых магматических породах, более обогащены радиоактивными элементами (ураном, радием, торием, калием), чем почвы, образованные на основных и ультраосновных породах [15]. Помимо почвообразующих пород, деятельность человека сопровождается выбросами радионуклидов в окружающую среду. Со второй половины XX в. начались испытания атомного оружия и впервые возникли аварийные ситуации на предприятиях атомной промышленности (Кыштымская авария 1957 г., Чернобыльская катастрофа 1986 г., авария на АЭС Фукусима-1 в 2011 г. и др.). При создании АЭС специалистам приходится учитывать социальные риски в области радиационной безопасности, приводящие к поражению населения в случае возникновения чрезвычайной ситуации. Наибольшему воздействию радиоактивного загрязнения подверглись территории после аварий на Чернобыльской АЭС (Чернобыльская зона отчуждения), ПО «Маяк» (Восточно-Уральский радиоактивный след), бассейн р. Теча, что является ярким примером социального и, в первую очередь, экологического риска [3]. Выпавшие на поверхностный слой почвы радионуклиды под влиянием хозяйственной деятельности и природных факторов мигрировали вглубь почвы, загрязняя значительные слои [7]. Исходя из данных ФГБУ «Тулаагрохимрадиология», максимальной плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  в диапазоне 37–185 кБк/м<sup>2</sup> обладают сельскохозяйственные угодья Плавского и Арсеньевского районов с преимущественным распространением черноземных и серых лесных почв [17].

В границах юга Тюменской области радиационно-экологический мониторинг проводится государственными органами исполнительной власти (ФГБУ ГЦАС «Тюменский», Росприроднадзор, ФГБУ по УФО по Тюменской области «ЦЛАТИ», ФГБУ Обь-Иртышское УГМС и др.). Результаты мониторинга представлены в ежегодных отчетах об экологической ситуации в границах Тюменской области. В рамках научно-исследовательской деятельности проведено несколько работ по изучению содержания радионуклидов в зональных и интразональных почвах [2,4,10]. Стоит отметить, что при всем объеме работ, сделанном авторами, вопрос о радиационно-геохимической связи естественных и техногенных радионуклидов с макро- и микроэлементами в различных типах почв юга Тюменской области до сих пор остается актуальным.

### Задачи исследования

Объектом исследования были темно-серые лесные почвы Упоровского района юга Тюменской области.

При этом ставились следующие задачи:

- оценить содержание естественных и техногенных радионуклидов в поверхностном слое почв Упоровского района;
- определить содержание естественных ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) и техногенных ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) радионуклидов в профилях темно-серых лесных почв Упоровского района Тюменской области;
- выделить факторы, влияющие на распределение естественных и техногенных радионуклидов в исследуемых почвах;
- выявить зоны аккумуляции и рассеивания естественных и техногенных радионуклидов в исследуемых почвах;
- определить взаимосвязь между естественными радионуклидами, макро- и микроэлементами в исследуемых почвах.

## Материалы и методы исследования

С географической точки зрения территория исследования расположена в границах Упоровского района юга Тюменской области. Площадь распространения серых, светло- и темно-серых лесных типов почв составляет 891,2 тыс. га, при этом площадь серых лесных почв составляет 41,5%, светло-серых – 18,1%, темно-серых – 40,4%. В связи с географической распространенностью темно-серых лесных почв в границах территории исследования и, как следствие, использования их в сельскохозяйственных целях, изучение содержания радионуклидов естественного и искусственного происхождения является достаточно актуальным для данной территории [13].

Радиационно-геохимические работы проведены в летний полевой период 2024 года. Пробы почв были отобраны на пунктах экологического мониторинга ФГБУ ГЦАС «Тюменская» и фоновых участках Упоровского района. В табл.1, 2 представлены общие сведения об изучаемых типах почв. В процессе описания почв изучались: мощность горизонта, плотность, структура, механический состав, форма и степень выраженности границы горизонтов, реакция с соляной кислотой, включения и окрас по колориметрической системе Манселла (Munsell Soil Color Book).

Отбор проб производился каждые 20 см до подстилающей/материнской породы (до 1,5 м), масса отобранной пробы составляла 1 кг. Из отобранных образцов почв удалялись ветки, камни, корни растений и различный мусор. Отобранные пробы высушивались в естественных условиях при температуре воздуха 20 °С, после чего просеивались через почвенное сито с диаметром ячеек 0,5 мм. Количество отобранных для анализа проб по глубине профиля темно-серых лесных почв и почв агроценозов составило свыше 80, а поверхностного (пахотного) слоя почв – более 200 [15].

Лабораторный анализ проводился в два этапа: определение содержания естественных ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) и техногенных ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) радионуклидов (далее ЕРН и ТРН), химический анализ. Определение содержания радионуклидов проводилось на спектрометрическом комплексе УСК «Гамма плюс». Радиационный фон до и после проведения измерения не превышал 0,08 мкЗв/ч [15]. В работе использованы данные химического анализа почв ФГБУ ГЦАС «Тюменская». Определение содержания основных макро- и микроэлементов проводилось в аккредитованной испытательной лаборатории с использованием действующих сертифицированных методик ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98 и др. В отобранных образцах почв определены следующие химические элементы: калий (подвижная форма, п.ф.), медь (валовая форма, в.ф.), цинк (в.ф.), кобальт (в.ф.), марганец (в.ф.), железо (в.ф.), сера (в.ф.), свинец (в.ф.), никель (в.ф.), кадмий (в.ф.), а также гумус (органическая фракция) и рН [15].

Для сравнения полученных результатов исследования с действующими нормативными документами (ГОСТ 30108-94; ГОСТ 30108-94; СП 2.6.1.758-99; СанПиН 2.6.1.2800-10) были проведены расчеты удельной эффективной активности ЕРН ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) по формуле (1):

**Табл.1.** Общая информация.

Тип (подтип) почвы	Место отбора проб почв	Формула почвенного профиля		
		СССР (1977)	Россия (2004)	World Reference Base (2006)
Почва агроценоза. Темно-серая лесная	Площадка мониторинга (репер)	$A_{\text{пах}}+B+C$	AU+BEL+C	AU+BEL+C
Темно-серая лесная. Фоновая	Фон	$A_0+A_1+B+C$	AU+BEL+C	AU+BEL+C

**Табл.2.** Описание исследуемых почв.

Тип (подтип) почвы	Описание почвенных горизонтов по классификации и диагностике почв СССР (1977)
Почва агроценоза. Темно-серая лесная.	<b>A<sub>пах</sub></b> : мощность до 40 см, рыхлая, волнистая и постепенная граница, рыхлый, комковатой структуры, легко суглинистого механического состава, 10YR 2/1 (черный); <b>B</b> : мощность до 90 см, плотной, призмовидно-плитчатой структуры, среднесуглинистого механического состава, волнистой и постепенной границей, 10YR 4/4 (темновато-желтовато-коричневый); 10YR 2/1 (черный); <b>C</b> : мощность свыше 30 см, очень плотная, призмовидно-плитчатая структура, тяжело-суглинистого, глинистого механического состава, 2,5Y 7/3 (бледновато-коричневая). Реакция с соляной кислотой во всех почвенных горизонтах отсутствует.
Темно-серая лесная. Фоновая.	<b>A<sub>0</sub></b> : мощность до 3 см, рыхлая, граница горизонта волнистая, переход резкий; <b>A<sub>1</sub></b> : мощность до 38 см, уплотненная, призмовидно-глыбистой структуры, средне-суглинистого механического состава, волнистой и резкой границей горизонта, с включением корней растений по всему горизонту, окрас: 10YR 3/2 (очень темновато-серовато-коричневый); <b>B</b> : мощность до 60 см, очень плотная, глыбистой структуры, тяжелого суглинистого механического состава, с ровной и ясной границей, окрас: 10YR 4/4 (темновато-желтовато-коричневый); <b>C</b> : мощность свыше 60 см, очень плотная, призмовидно-плитчатой структуры, тяжело-суглинистого, глинистого механического состава, 10YR 5/4 (желтовато-коричневый). Реакция с соляной кислотой во всех горизонтах отсутствует.

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,31 \cdot A_{Th} + 0,085 \cdot A_K, \quad (1)$$

где  $A_{Ra}$  – содержание радия-226, Бк/кг;  $A_{Th}$  – содержание тория-232, Бк/кг;  $A_K$  – содержание калия-40, Бк/кг.

Радиационно-экологический контроль содержания ТРН ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) проводился согласно нормативному документу «Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия».

Графическая иллюстрация полученных результатов, выполнение регрессионного анализа проводилось в программе Microsoft Excel.

### Результаты и их обсуждения

На текущий момент содержание наиболее распространенных ТРН ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ) в поверхностном слое почв России для  $^{137}\text{Cs}$  в среднем составляет 2,4 кБк/м<sup>2</sup> и для  $^{90}\text{Sr}$  – 1,4 кБк/м<sup>2</sup>. Эти значения соответствуют характерным показателям уровня радиоактивного загрязнения в области между 30° и 60° северного полушария [1]. Для сельскохозяйственных угодий содержание  $^{137}\text{Cs}$  в поверхностном слое почв варьируется в интервале от 4,3 до 9,9 Бк/кг, для  $^{90}\text{Sr}$  от 1,0 до 5,4 Бк/кг,  $^{226}\text{Ra}$  от 15 до 37 Бк/кг,  $^{232}\text{Th}$  от 16 до 40 Бк/кг [8].

С учетом отсутствия в границах юга Тюменской области ядерных и особо опасных радиационных объектов уровень радиационного фона во многом определяется природными источниками излучения (за счет содержащихся радионуклидов в атмосфере, воде и почве). Согласно действующему ФЗ №3 от 09.01.1966 «О радиационной безопасности населения», агроэкологический мониторинг состояния почв имеет особое значение в сельскохозяйственной, инженерной и строительной отраслях, поскольку радионуклиды способны надолго аккумулироваться в почве, растениях и длительное время наносить ущерб живым организмам. В табл.3 представлены усредненные результаты исследования содержания естественных и техногенных радионуклидов в поверхностном и пахотном слое почв агроценозов и темно-серых лесных почв Упоровского района юга Тюменской области.

По результатам лабораторного исследования, представленного в табл.4, содержание ЕРН и ТРН не превышает действующих норм радиационной безопасности и согласно ГОСТ 30108-94

относится к I классу. Интервалы содержания ЕРН и ТРН в почвах агроценозов и темно-серых лесных почвах находятся в региональных диапазонах, характерных для территории юга Тюменской области, наличие техногенных радионуклидов объясняется глобальными трансграничными переносами. С учетом ежегодного нарушения естественного состояния верхнего плодородного слоя путем вспахивания и, как следствие, изменения плотности горизонтов, удельная активность ЕРН и ТРН в почвах агроценозов в 1–1,5 раза ниже, чем в фоновых темно-серых лесных почвах. Увеличение содержания ЕРН и ТРН в темно-серых лесных почвах объясняется их медленной миграцией вглубь почвенного профиля и менее активной аккумуляцией растущей на территории древесной и травяной растительностью [2].

Не менее важным с научной и прикладной точки зрения являются радиационно-геохимические исследования ЕРН и ТРН в профиле естественных и антропогенно нарушенных почв. К основным задачам подобного плана работ относится определение зон максимальных и минимальных концентраций радионуклидов, а также выявление факторов, оказывающих влияние на скорость миграции. Результаты исследования содержания естественных ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) и техногенных ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) радионуклидов и их распределение в профиле агроценозов и темно-серых лесных почв Упоровского района юга Тюменской области представлены ниже (табл.4).

Содержание  $^{40}\text{K}$  во всех отобранных образцах почвы агроценозов и темно-серых лесных почв находится в диапазоне 183–451 Бк/кг, для  $^{232}\text{Th}$  составляет от 6,9 до 33,9 Бк/кг, для  $^{226}\text{Ra}$  от < 1 до 43,9 Бк/кг. Содержание  $^{40}\text{K}$  в темно-серых лесных почвах Упоровского района колеблется от 145 до 400 Бк/кг,  $^{232}\text{Th}$  – от 15,3 до 30 Бк/кг и  $^{226}\text{Ra}$  – от 1,1 до 33,6 Бк/кг. Результаты, полученные в ходе анализа почв Упоровского района, свидетельствуют о том, что диапазон значений содержания  $^{137}\text{Cs}$  в почвах агроценозов варьируется от 1 до 11,1 Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  от 2 до 9,11 Бк/кг. В то же время фоновые показатели по  $^{137}\text{Cs}$  находятся в пределах от 1 до 9,2 Бк/кг, а содержание  $^{90}\text{Sr}$  находится ниже предела чувствительности прибора УСК «Гамма плюс». Низкие значения концентраций ТРН на данной территории обусловлены отсутствием постоянных источников их поступления. Обнаружение ТРН связано с их глобальным переносом в результате испытаний «мирных» ядерных взрывов в XX веке. Таким образом, полученные данные относятся к относительно удовлетворительной обстановке, и для данной территории ограничения с радиационно-гигиенической точки зрения отсутствуют. Полученные данные не превышают пределы удельной эффективной активности содержания ЕРН (370 Бк/кг) согласно ГОСТ 30108-94 и относятся к I классу.

Содержание ЕРН в темно-серых лесных почвах Упоровского района можно сопоставить с результатами работы Бурлаенко В.З., где среднее содержание  $^{226}\text{Ra}$  – 28,8 Бк/кг и  $^{40}\text{K}$  – 439 Бк/кг, что в 2,5 раза выше средних показателей исследуемых почв [2]. По данным [8] среднее содержание  $^{226}\text{Ra}$  для серых лесных почв России составляет 18,9 Бк/кг,  $^{232}\text{Th}$  – 28,2 Бк/кг,  $^{40}\text{K}$  – 400 Бк/кг. Среднее содержание  $^{232}\text{Th}$  схоже с полученными данными

**Табл.3.** Среднее содержание естественных и техногенных радионуклидов в поверхностном и пахотном слое почв агроценозов и темно-серых лесных почв Упоровского района юга Тюменской области.

Тип (подтип) почв	Среднее содержание естественных и техногенных радионуклидов, Бк/кг					
	$^{40}\text{K}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	Аэфф	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$
Почва агроценоза. Темно-серая лесная	328,0	6,7	21,3	59,0	5,7	2,0
Темно-серые лесные. Фоновая	287,0	10,2	24,2	69,78	9,6	3,6

**Табл. 4.** Содержание естественных и техногенных радионуклидов в профиле агро-темно-серых лесных и темно-серых лесных почв Упоровского района юга Тюменской области.

Глубина отбора проб, см	Почвенный горизонт	Тип (подтип) почв	<sup>40</sup> K	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	Аэфф	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr
			Бк/кг					
0–20	<i>A<sub>max</sub></i> /В	1*	183	7,2	20,2	49,22	8,7	4,49
	<i>A<sub>0</sub></i> / <i>A<sub>1</sub></i>	2*	145	9,1	22,3	50,64	9,2	<1
20–40	В	1	244	1,3	6,9	31,08	11,1	9,11
	<i>A<sub>1</sub></i> /В	2	227	2,2	15,3	41,54	5,5	<1
40–60	В	1	451	<1	27,1	73,84	8,9	7,13
	В	2	400	1,1	20,6	62,09	1,3	<1
60–80	В	1	259	<1	33,9	66,42	1,8	2,22
		2	231	1,1	28,6	58,20	1	<1
80–100	В	1	340	43,9	21,9	101,49	<1	2
	В/С	2	314	33,6	30	99,59	2,6	<1
100–120	В/С	1	493	11,6	16,5	75,12	1,8	2,45

Примечание: 1\* – Почва агроценоза. Темно-серая лесная; 2\* – Темно-серые лесные.

собственного исследования, в то время как показатели <sup>226</sup>Ra и <sup>40</sup>K превышают показатели в исследуемой почве в 2 и 1,3 раза соответственно [9]. Среднее содержание <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в почвах сельскохозяйственных угодий Сибири по данным Орлова П.М. составляет 12,1 и 5,6 Бк/кг соответственно, что примерно в 3 раза выше по <sup>137</sup>Cs и сопоставимо с результатами исследования по <sup>90</sup>Sr в почвах Упоровского района [8]. В работе [20] приведены средние значения содержания <sup>226</sup>Ra – 14,1±1,3 Бк/кг, <sup>40</sup>K – 318,8±9 Бк/кг, <sup>232</sup>Th – 15,7±2,3 Бк/кг, <sup>137</sup>Cs – 18,4±0,6 Бк/кг для бурых лесных почв. Следует отметить, что средние содержания ЕРН на всех исследуемых участках почв Упоровского района находятся в интервале данных, полученных в [20,21].

Ofofola и др. в исследовании экологического риска естественной радиоактивности в почве юго-восточной части Нигерии определили, что среднее содержание по <sup>40</sup>K составляет 180 Бк/кг, <sup>226</sup>Ra – 56,65 Бк/кг, <sup>232</sup>Th – 42,92 Бк/кг. Можно заметить, что полученные результаты, за исключением <sup>40</sup>K, в почвах Упоровского района находятся ниже результатов собственных исследований [9].

Содержание ЕРН и ТРН в верхних горизонтах почв агроценозов (*A<sub>max</sub>*) и темно-серых лесных почв (*A<sub>0</sub>*/*A<sub>1</sub>*) во многом объясняется степенью их антропогенной преобразованности. Так, содержание ЕРН и ТРН (за исключением <sup>40</sup>K и <sup>90</sup>Sr) в почвах агроценозов в 1–1,2 раза ниже фоновых значений в темно-серых лесных почвах. Снижение концентрации ЕРН и ТРН в почвах агроценозов по сравнению с темно-серыми лесными почвами в горизонтах *A<sub>max</sub>* и *A<sub>0</sub>*/*A<sub>1</sub>* объясняется высоким промыванием верхних почвенных слоев за счет инфильтрации атмосферных осадков и изменениям плотности почвы за счет постоянной интенсивной распашки. Повышенное относительно «фоновых» значений содержание <sup>40</sup>K (в 1,2 раза) и <sup>90</sup>Sr (в 4,5 раза) в почвах агроценозов, возможно, объясняется применением сельскохозяйственных удобрений, которые увеличивают содержание радиоактивного калия, а увеличение <sup>90</sup>Sr происходит за счет глобального переноса данного радионуклида и его аккумуляции в распаханном гумусовом горизонте. В целом полученное содержание ЕРН и ТРН в почвах агроценозов и темно-серых лесных почвах Упоровского района находится в региональных нормах и коррелируется с данными других авторов [2,3,5,8].

Значительное влияние на содержание ЕРН и ТРН в почвах оказывают зональные факторы, а именно: климатические особенности территории, геолого-геоморфологические условия и почвенно-растительный покров. Во многом процесс аккумуляции и миграции радионуклидов определяется типом ландшафта и произрастающей на ней растительности. Травянистая растительность благодаря корневой системе способствует проникновению радионуклидов вглубь почвы [16]. В целом, выявлена общая черта сходства в вертикальной миграции ЕРН и ТРН в почвах агроценозов и темно-серых лесных почвах, которая заключается в снижении концентрации в горизонте В и увеличении к горизонту С. Миграция ЕРН и ТРН в горизонте В носит скачкообразный характер с резкими пиками снижения и увеличения содержания радионуклидов, что обуславливается сменой механического состава, а также изменениями плотности.

В вертикальной миграции  $^{40}\text{K}$  выявлено два пика повышения содержания на глубинах 40–60 см (горизонт В) и 100–120 см (горизонт В). Для  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  наблюдается незначительная тенденция повышения их содержания в поверхностных слоях ( $A_{max}$ ,  $A_0/A_1$ ) и увеличению к материнской породе. Стоит подчеркнуть, что содержание  $^{226}\text{Ra}$ , хоть и имеет общую специфику в вертикальной миграции с  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$ , однако меняется в зависимости от подтипа изучаемых почв. Так, содержание  $^{226}\text{Ra}$  с глубин 20–40 см по 60–80 см (горизонт В) в почвах агроценозов находится ниже измерения прибора УСК «Гамма плюс», что говорит о крайне низких концентрациях данного радионуклида. Судя по всему, столь низкое содержание связано с его значительной аккумуляцией сельскохозяйственной растительностью и корневой системой, а также интенсивной распашкой верхних слоев, в связи с чем остатки  $^{226}\text{Ra}$  путем инфильтрации под действием атмосферных осадков мигрируют ниже по профилю. В целом пики миграции естественных радионуклидов сосредоточены на трех глубинах: 0–20 см (горизонты  $A_{max}$ ,  $A_0/A_1$ ), 40–60 см (горизонт В), 80–100 см (горизонт В/С).

На вертикальную миграцию радионуклидов в почве оказывает влияние множество факторов, среди которых можно выделить: физико-химические свойства самих почв, а также интенсивность проявления элювиальных, гидрогенных и иллювиальных процессов. Немаловажную роль на скорость миграции ЕРН и ТРН в почвах оказывают водопроницаемость и дренированность почв. Изменение этих условий приводит к повышению содержания ЕРН и ТРН в поверхностном слое, в связи с чем миграция радионуклидов в почвах тяжелого механического состава затруднена по сравнению с почвами более легкого механического состава, а наличие трещин, пор и пустот способствуют продвижению радионуклидов вглубь почвенных горизонтов [16]. В исследовании Шапошниковой Л.М. и Шуктовой И.И. указано, что миграционная способность анализируемых радиоизотопов зависит от физико-химических свойств почвы, также отмечено, что удельные активности напрямую зависят от концентраций фосфора, который способен образовывать с рассматриваемыми радионуклидами нерастворимые или слабо растворимые соединения [18].

Содержание и последующая вертикальная миграция ТРН в профилях почв агроценозов и в темно-серых лесных почвах во многом обусловлена их поступлением с атмосферными осадками, типом (подтипом) почв, плотностью, влажностью и геохимическим составом почв. В миграции ТРН в профиле любых почв характерно постепенное снижение их концентрации с глубиной и практически нулевое содержание в материнской породе. Подобное явление обусловлено генезисом изучаемых радионуклидов и их появлению в компонентах природной и антропогенной среды с середины XX века. Аккумуляция  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почвах агроценозов и темно-серых

лесных почвах происходит в верхних почвенных горизонтах ( $A_{max}$ ,  $A_0/A_I$  и частично приходится на В), наибольшее содержание ТРН выявлено в почвах агроценозов за счет их интенсивной распашки, открытости при выпадении атмосферных осадков, а также предположительно внесению сельскохозяйственных удобрений, которые увеличивают плодородие почвы и, как следствие, способствуют фиксации ТРН в почвенном профиле. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  в темно-серых лесных почвах находится ниже предела измерения «УСК Гамма Плюс». Аналогичные особенности в миграции ТРН в почвах отмечены в работах других авторов [14], занимающихся геохимией техногенных радионуклидов в границах зон чрезвычайных обстановок, где их содержание в почвах можно классифицировать как «чрезвычайно опасное». Так, в [10] отмечено, что основная концентрация  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в бурых лесных, дерново-подзолистых, черноземно-луговых, дерново-луговых почвах зоны ВУРС (Восточно-Уральского радиоактивного следа) сосредоточено в гумусированном слое (5–20 см) и снижается с глубиной, повторные «следы» радиоактивного загрязнения фиксируются на глубинах 40–45 см (горизонт В), что аналогично собственным результатам исследования (табл.3). По данным авторов основное количество  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в лесных экосистемах аккумулируется в верхнем органогенном горизонте, а их вертикальное перемещение в почвенном профиле характеризуется равномерным распределением [10]. Как отмечено в [14], распределение  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почвах зависит от содержания гумуса, наличия гуминовых и фульвокислот, а также физико-химических свойств слагающей почву породы. В случае  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  авторами обнаружено, что на их миграцию и фиксацию в почвенном профиле существенное влияние оказывает не физическая глина, а фиксация органическим веществом и связывание микробиотой, мицелием почвы [14]. Вертикальная миграция радионуклидов в почвах Плавского района Тульской области в [19] характеризуется пониженной активностью по причине наличия в почвах высоких концентраций мелкодисперсных частиц. Таким образом, прочность закрепления радионуклидов посредством почвогрунтовых свойств влияет на очищение территории от радиоактивных изотопов, из-за барьерных частиц происходит накопление и концентрация радиоизотопов в поверхностном слое. Главным загрязняющим радионуклидом является  $^{137}\text{Cs}$ , концентрация которого в большей степени фиксируется в поверхностном слое от 0 до 15 см, при этом с понижением значений по глубине. Суммарная активность данного техногенного радионуклида составляет 2230,9 Бк/кг, что соответствует плотности поверхностного радиоактивного загрязнения 18,1 Ки/км<sup>2</sup> [19]. В [12] на тему изучения интенсивности самоочищения почв в районе аварии на Чернобыльской АЭС отмечено, что вертикальное распределение  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в большей степени сконцентрировано в корнеобитаемом слое (0–15 см). Интенсивность миграции анализируемых ТРН зависит от уровня увлажненности грунта, типа почв и физико-химических свойств радионуклидов. Так, в 30-км зоне ЧАЭС среднее смещение радиостронция составляет от 4,6 до 5,9 см, радиоцезия от 4,1 до 4,9, соответственно. Авторами был сделан вывод, что вертикальная миграция является незначительным фактором удаления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  из корнеобитаемого слоя в сравнении с ролью радиоактивного распада [12].

Полученные результаты собственных исследований, как уже было сказано ранее, коррелируют с работами других авторов и подчеркивают общую специфику вертикальной миграции ЕРН и ТРН в изучаемых типах почв.

Геохимические и радиационно-экологические условия территории являются основными параметрами нормального функционирования экосистем. Изучение процессов вертикальной миграции химических элементов и радионуклидов в зональных и интразональных почвах раз-

ной степени преобразованности является важным с научной и прикладной точки зрения видом работ, требующим более углубленных исследований. Для оценки влияния естественных радионуклидов на санитарно-эпидемиологическую ситуацию территории исследования была проведена радиационно-геохимическая оценка агро-темно-серых лесных почв в границах пункта наблюдения ФГБУ ГСАС «Тюменский». Результаты геохимического исследования почв агроценозов представлены в табл.5, а выявление характера взаимодействия между естественными радионуклидами, макро- и микроэлементами в табл.6.

Превышений предельно допустимых, а также ориентировочно допустимых концентраций химических элементов согласно действующему СанПиН 1.2.3685-21 выявлено не было. С геохимической точки зрения изучаемый тип почв согласно МУ 2.1.7.730-99 можно отнести к категории «чистых».

Целью регрессионного анализа было выявление взаимосвязей между естественными радионуклидами и макро-, микроэлементами, а также определение характера их взаимодействия. Как известно, на миграцию и аккумуляцию радионуклидов может оказывать влияние химический состав среды. В качестве объектов исследования выбраны почвы агроценозов площадок мониторинга ФГБУ ГСАС «Тюменский», результаты исследования представлены в табл.6.

На миграцию и содержание радионуклидов оказывает влияние множество факторов, среди которых лимитирующими будут зональные (климатические, геолого-геоморфологические, гидрологические, ботанические, почвенные) условия территории. По результатам корреляционного анализа удельной активности ЕРН и ТРН в почвах и выявлением взаимосвязи их содержания с макро- и микроэлементами были сделаны следующие выводы:

- Выявлено, что наибольшее влияние на содержание  $^{40}\text{K}$  оказывают: К подвижный ( $r = 0,50$ ), Ni ( $r = 0,97$ ), Zn ( $r = 0,85$ ), Cd ( $r = 0,70$ ), Cu ( $r = 0,69$ ), гумус (0,67), Fe ( $r = 0,55$ ), Co ( $r = 0,50$ ), Mg ( $r = 0,50$ ), где  $r$  – коэффициент корреляции. С уровнем кислотности pH, S, Pb взаимосвязи не обнаружено.
- Наибольшее влияние на содержание  $^{226}\text{Ra}$  среди рассматриваемых химических элементов оказывает pH ( $r = 0,50$ ), Mg ( $r = 0,60$ ), S ( $r = 0,60$ ). Взаимосвязи с Cd, Ni, K, Fe, Co, Cu, Pb и с гумусом выявлено не было.

**Табл.5.** Содержание химических элементов в почвенном профиле почв агроценозов Упоровского района по данным ФГБУ ГСАС «Тюменский».

Глубина отбора проб, см	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100	ПДК/ОДК
Гумус	6,13	3	2,04	1,84	1,56	-/-
pH	5,6	5,5	5,5	4,3	4,4	-/-
Калий подвижная форма, мг/кг	130	464	33,1	135	108	-/-
Медь, мг/кг	11,2	9,6	13,6	11,7	10,8	-/66
Цинк, мг/кг	31,9	31,3	20,4	34,6	30,6	-/110
Кобальт, мг/кг	12,2	9,6	9,3	8	7,9	50/-
Магний, мг/кг	510	555	230	219	558	1500/-
Железо, мг/кг	9500	9500	10250	10500	10000	-/40000
Сера, мг/кг	6,2	7	6,4	7,1	6,2	160/-
Свинец, мг/кг	12,7	10,4	10,3	8,2	10	32/65
Никель, мг/кг	21,6	21,6	29	23,5	24,7	-/40
Кадмий, мг/кг	0,112	0,085	0,01	0,01	0,06	-/1

**Табл.6.** Характер взаимодействия естественных и техногенных радионуклидов с макро- и микроэлементами в почвах агроценозов.

Показатель	Уравнение регрессии	Показатель	Уравнение регрессии
Гумус	$y(^{40}\text{K}) = -0,01x + 6,52, r = 0,67$	рН	$y(^{40}\text{K}) = -0,00x + 5,17, r = 0,06$
	$y(^{226}\text{Ra}) = -0,02x + 3,17, r = 0,25$		$y(^{226}\text{Ra}) = -0,01x + 5,23, r = 0,50$
	$y(^{232}\text{Th}) = -0,06x + 4,24, r = 0,32$		$y(^{232}\text{Th}) = -0,03x + 5,85, r = 0,55$
	$y(^{137}\text{Cs}) = 0,20x + 1,68, r = 0,52$		$y(^{137}\text{Cs}) = 0,12x + 4,28, r = 0,96$
	$y(^{90}\text{Sr}) = 0,10x + 2,40, r = 0,17$		$y(^{90}\text{Sr}) = 0,17x + 4,20, r = 0,81$
К п.ф., мг/кг	$y(^{40}\text{K}) = -0,78x + 404,59, r = 0,50$	Cu, мг/кг	$y(^{40}\text{K}) = 0,01x + 8,48, r = 0,69$
	$y(^{226}\text{Ra}) = -1,98x + 194,8, r = 0,22$		$y(^{226}\text{Ra}) = -0,02x + 11,59, r = 0,26$
	$y(^{232}\text{Th}) = -13,72x + 476, r = 0,82$		$y(^{232}\text{Th}) = 0,10x + 9,04, r = 0,73$
	$y(^{137}\text{Cs}) = 15,85x + 77,27, r = 0,50$		$y(^{137}\text{Cs}) = -0,01x + 11,44, r = 0,03$
	$y(^{90}\text{Sr}) = 31,77x + 15,47, r = 0,59$		$y(^{90}\text{Sr}) = -0,04x + 11,59, r = 0,09$
Zn, мг/кг	$y(^{40}\text{K}) = -0,04x + 42,97, r = 0,85$	Co, мг/кг	$y(^{40}\text{K}) = -0,01x + 11,86, r = 0,50$
	$y(^{226}\text{Ra}) = 0,03x + 29,36, r = 0,13$		$y(^{226}\text{Ra}) = -0,03x + 9,73, r = 0,35$
	$y(^{232}\text{Th}) = -0,04x + 30,71, r = 0,08$		$y(^{232}\text{Th}) = -0,06x + 10,78, r = 0,36$
	$y(^{137}\text{Cs}) = -0,40x + 32,24, r = 0,37$		$y(^{137}\text{Cs}) = 0,24x + 7,91, r = 0,68$
	$y(^{90}\text{Sr}) = -0,79x + 33,74, r = 0,45$		$y(^{90}\text{Sr}) = 0,19x + 8,41, r = 0,35$
Mg, мг/кг	$y(^{40}\text{K}) = -0,77x + 643,18, r = 0,50$	Fe, мг/кг	$y(^{40}\text{K}) = 2,39x + 924,9, r = 0,55$
	$y(^{226}\text{Ra}) = 5,01x + 361,87, r = 0,60$		$y(^{226}\text{Ra}) = -1,13x + 996,9, r = 0,05$
	$y(^{232}\text{Th}) = -13,97x + 721,9, r = 0,80$		$y(^{232}\text{Th}) = 39,29x + 908,5, r = 0,88$
	$y(^{137}\text{Cs}) = 4,19x + 388,83, r = 0,12$		$y(^{137}\text{Cs}) = -55,08x + 102, r = 0,60$
	$y(^{90}\text{Sr}) = 6,47x + 382,09, r = 0,11$		$y(^{90}\text{Sr}) = -69,24x + 102, r = 0,47$
S, мг/кг	$y(^{40}\text{K}) = -0,01x + 6,87, r = 0,24$	Pb, мг/кг	$y(^{40}\text{K}) = -0,04x + 11,78, r = 0,32$
	$y(^{226}\text{Ra}) = -0,02x + 6,71, r = 0,60$		$y(^{226}\text{Ra}) = 0,01x + 10,29, r = 0,03$
	$y(^{232}\text{Th}) = -0,01x + 6,59, r = 0,02$		$y(^{232}\text{Th}) = -0,07x + 12,01, r = 0,50$
	$y(^{137}\text{Cs}) = 0,02x + 6,53, r = 0,08$		$y(^{137}\text{Cs}) = 0,18x + 9,19, r = 0,56$
	$y(^{90}\text{Sr}) = 0,03x + 6,42, r = 0,23$		$y(^{90}\text{Sr}) = 0,15x + 9,55, r = 0,30$
Ni, мг/кг	$y(^{40}\text{K}) = 0,03x + 15,65, r = 0,97$	Cd, мг/кг	$y(^{40}\text{K}) = -0,03x + 0,14, r = 0,70$
	$y(^{226}\text{Ra}) = 0,03x + 24,03, r = 0,03$		$y(^{226}\text{Ra}) = 0,004x + 0,05, r = 0,19$
	$y(^{232}\text{Th}) = 0,15x + 20,76, r = 0,50$		$y(^{232}\text{Th}) = -0,02x + 0,12, r = 0,73$
	$y(^{137}\text{Cs}) = -0,06x + 24,48, r = 0,11$		$y(^{137}\text{Cs}) = 0,02x + 0,03, r = 0,38$
	$y(^{90}\text{Sr}) = 0,03x + 23,91, r = 0,03$		$y(^{90}\text{Sr}) = 0,002x + 0,04, r = 0,19$

Примечание:  $y$  – содержание  $i$ -го радионуклида, Бк/кг;  $x$  – содержание рассматриваемого параметра,  $r$  – коэффициент корреляции.

- Для  $^{232}\text{Th}$  влияние на содержание в почве оказывает: рН ( $r = 0,55$ ), К ( $r = 0,82$ ), Cu ( $r = 0,73$ ), Mg ( $r = 0,80$ ), Fe ( $r = 0,88$ ), Pb ( $r = 0,50$ ), Ni ( $r = 0,50$ ), Cd ( $r = 0,73$ ). Взаимосвязь с гумусом, Zn, Co, S не установлена.
- На содержание техногенных радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  оказывают достаточное влияние рН ( $r = 0,96$  ( $^{137}\text{Cs}$ ) и  $r = 0,81$  ( $^{90}\text{Sr}$ )) и К ( $r = 0,50$  ( $^{137}\text{Cs}$ ) и  $r = 0,59$  ( $^{90}\text{Sr}$ )). Для  $^{137}\text{Cs}$  также установлена взаимосвязь с Co ( $r = 0,68$ ), Fe ( $r = 0,60$ ), Pb ( $r = 0,56$ ) и гумусом ( $r = 0,52$ ). Взаимосвязь с Cu, Zn, Mg, S, Ni и Cd у рассматриваемых техногенных радионуклидов не обнаружена.

Аналогичные результаты исследования, связанные с изучением характера взаимодействия ТРН с макро- и микроэлементами, отмечены в работах отечественных ученых [5,8].

Таким образом, можно сделать вывод, что на содержание естественных радионуклидов в действительности оказывает значимое влияние химический состав почвы. В данном исследовании это микроэлементы: никель, магний и калий подвижный, наличие которых в темно-серых лесных почвах обуславливается агрохимическими особенностями района исследования.

### Заключение

Проведенное радиационно-геохимическое исследование почв агроценозов и темно-серых лесных почв Упоровского района Тюменской области позволяет сделать следующие выводы:

- результаты радиационно-экологического исследования поверхностного/пахотного слоя почв Упоровского района соответствует региональным нормам, превышений удельной активности естественных и техногенных радионуклидов выявлено не было [11];
- зоны аккумуляции и миграции естественных и техногенных радионуклидов соответствуют зонам изменения основных почвенных характеристик и степени антропогенной преобразованности почвенных горизонтов;
- характер взаимосвязи между естественными и техногенными радионуклидами с макро- и микроэлементами характеризуется в большинстве случаев отрицательной корреляцией. Высокие положительные коэффициенты корреляции были отмечены во взаимосвязи  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  с никелем, марганцем, калием подвижным.

Полученные в ходе исследования данные могут использоваться в процессе проведения инженерно-экологических изысканий, при проведении экологического мониторинга, составления общих региональных норм содержания естественных и техногенных радионуклидов Упоровского района, а также в научных целях.

### Литература

1. Бекман И.Н. Радиоэкология и экологическая радиохимия: учебник для среднего профессионального образования. 2-е изд., испр. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2024. 497 с.
2. Бурлаенко В.З., Игашева С.П. Анализ активности природных радионуклидов в почвенно-растительном покрове на территории юга Тюменской области // Самарский научный вестник. Т. 9, № 3, 2020. С. 32-36. DOI: 10.17816/snvt202093105.
3. Герменчук М.Г. Радиационный мониторинг окружающей среды: учебное пособие. Минск: Высшая школа, 2021. 58 с., л. цв. вкл. ил. ISBN 978-985-06-3324-8.
4. Захарова Е.В. Эколого-радиационное состояние природной среды Тюменской области. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук, 2006.
5. Кайгородов Р.В. Удельная активность радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почвах прибрежных зон водных объектов Тюменской области // Успехи современного естествознания. 2020. № 9. С. 66-70. DOI: 10.17513/use. 37472.
6. Кузин А.М. Проблемы современной радиобиологии. М.: «Знание». 1987. 64 с.
7. Кузнецов В.К., Князева Е.П., Санжаров А.И., Кречетникова Е.О., Цветнова О.Б. Динамика распределения  $^{137}\text{Cs}$  в почвах Тульской области до и после аварии на Чернобыльской АЭС // Вестн. Моск. ун-та., сер. 17. Почвоведение. 2022. № 4. С. 31-37.
8. Орлов П.М., Аканова Н.И. Радиоактивность почв сельскохозяйственных угодий Сибири в условиях различной интенсивности химизации сельскохозяйственного производства // Агрохимия. 2019. № 9. С. 91-96. DOI: 10.1134/S0002188119090102.

9. Орлов П.М., Сычев В.Г., Аканова Н.И. Естественные радионуклиды в почвах России и фосфатных рудах планеты // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2020. Т. 63. № 4(376). С. 62-67. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-14074.
10. Позолотина В.Н., Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Михайловская Л.Н., Антонова Е.В. Современное состояние наземных экосистем Восточно-Уральского радиоактивного следа: уровни загрязнения, биологические эффекты. Екатеринбург: изд-во «Гощицкий», 2008. 204 с.
11. Правительство Тюменской области. Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2022 году. 2023. 12 с.
12. Рудая С.М., Чистик О.В., Жукова О.М. Вертикальная миграция радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почвах 30-км зоны // *АНРИ*. № 2(33). 2003. С. 30-36.
13. Скипин Л.Н., Захарова Е.В., Бурлаенко В.З. Экологическое состояние почв в эпицентре подземного ядерного взрыва «Тавда» // *Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование*. 2016. Том 2. № 1. С. 20-29. DOI: 10.21684/2411-7927-2016-2-1-20-29.
14. Собонович Э.В., Бондаренко Г.Н., Кононенко Л.В., Долин В.В., Садолько И.В., Сущик Ю.Я., Демченко Л.В., Шраменко И.Ф., Шевченко А.Л., Пушкарев А.В., Злобенко Б.П., Орлов А.А. // *Геохимия техногенных радионуклидов*. Киев: изд-во «Наукова Думка», 2002. 328 с.
15. Старков В.Д., Мигунов В.И. Радиационная экология. Тюмень: ОАО «Тюменский дом печати», 2007. 74 с.
16. Тюрюканова Э.Б. Радиогеохимия почв полесий Русской равнины. М.: Наука, 1974. 142 с.
17. Хекало Н.Л., Пучков Ю.Н. Динамика содержания радионуклидов в черноземах Тульской области // *Материалы научно-практической конференции «Чернобыль: экология, человек, здоровье»*. М., 2006.
18. Шапошникова Л.М., Шуктомова И.И. Особенности распределения урана, тория и радия в профиле техноподзолистой почвы // *Успехи современного естествознания*. 2016. № 6. С. 48-52.
19. Щукин М.В., Содбоев Ц.Ц., Калемениев С.А., Бирюкова Н.В. Вертикальная миграция радионуклидов в почвах Плавского района Тульской области // *Физико-химическая биология: радиобиология*. 2017. С. 132-136.
20. D. Tserendorj, K.Z. Szabo, P. Volgyesi, T.C. Nguyen et al, «Nelson Salazar-Yanez, Csaba Szaby – Distribution and impacts of contamination by natural and artificial radionuclides in attic dust and urban soil samples from a former industrial Hungarian city: A case study from Salgotarjan», *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 270, December 2023. 107291 DOI: 10.1016/j.jenvrad.2023.107291
21. O.M. Ofomola, F.O. Ugbede, O. Anomohanran, «Environmental risk assessment of background radiation, natural radioactivity and toxic elements in rocks and soils of Nkalagu quarry, Southeastern Nigeria», *Journal of Hazardous Materials Advances*, no. 10 (2023). Article 100288 DOI: 10.1016/j.hazadv.2023.100288.

## Geochemical Factors Influencing the Content and Migration of Natural and Anthropogenic Radionuclides in Soils Uporovsky District of the Tyumen Region

Guriev Nikita<sup>1</sup>, Sindireva Anna<sup>1</sup>, Kotchenko Sergei<sup>2</sup>, Andreenko Polina<sup>3</sup>, Lyapina Polina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Tyumen State University», Tyumen, Russian Federation

<sup>2</sup> Federal State Budgetary Institution State Station of Agrochemical Service «Tyumenskaya», Tyumen, Russia

<sup>3</sup> Limited Liability Company «Service Oil Company», Tyumen, Russia

**Abstract.** From the sanitary and hygienic point of view it is necessary to study not only the chemical composition of soils (macro- and microelements), but also the content of natural and anthropogenic radionuclides regardless of the anthropogenic load on the territory. Active development of nuclear industry since the middle of XX century, nuclear tests all over the world and as a consequence of global increase of radiation background still requires deep radiation-geochemical studies of various landscapes. Radiation-geochemical studies of not only anthropogenic, but also natural radionuclides have an important scientific and applied significance. Specific effective activity of natural ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) and anthropogenic ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) radionuclides in the profile of dark gray forest soils of the Uporovsky district of the Tyumen region. In the work the zones of accumulation and dispersion of natural and anthropogenic radionuclides in the profile of the studied soils of agrocenoses and conditionally background soils of dark gray forest soils are identified and analyzed, and the character of their interaction with macro- and microelements is outlined.

**Keywords:** natural radionuclides, technogenic radionuclides, macroelements, trace elements, soils, south of the Tyumen region.

Н.Е.Гурьев<sup>1</sup> (ст. препод.), А.В.Синдирева<sup>1</sup> (д.б.н., доцент, зав.каф.),

С.Г.Котченко<sup>2</sup> (директор), П.А.Андреев<sup>3</sup> (техник), П.Е.Ляпина<sup>1</sup> (студ.)

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», г. Тюмень

<sup>2</sup> ФГБУ ГЦАС «Тюменский», г. Тюмень

<sup>3</sup> ООО «Сервисная нефтяная компания», г. Тюмень

Контакты: [sindireva72@mail.ru](mailto:sindireva72@mail.ru), [nikitka.gurev.1996@mail.ru](mailto:nikitka.gurev.1996@mail.ru)