

## ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИНДИВИДУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Леканова Т.Л.<sup>1</sup>, Андронов А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сыктывкарский лесной институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова» (СЛИ), Сыктывкар, Республика Коми, Россия (167982, Сыктывкар, ГСП ул. Ленина, 39), e-mail: gregertamara@yandex.ru

В статье рассмотрена возможность перехода на энергосберегающие технологии на примере учебно-лабораторного центра, находящегося в г. Сыктывкаре. Для реализации проекта был выполнен расчет экономического эффекта, рентабельности и срока окупаемости для трех видов древесных отходов: опилок, щепы и топливных брикетов. В результате анализа сделан вывод о том, что наиболее рентабельным, при одинаковых инвестиционных затратах будет первый вариант – использование в качестве топлива отходов лесоперерабатывающего производства – опилок. Перевод индивидуальной системы теплоснабжения на древесные отходы позволит снизить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу по сравнению с использованием угля, а также сократить количество древесных отходов, скапливающихся на полигонах хранения и, как следствие, уменьшить количество газов анаэробного разложения и снизить вероятность возникновения парникового эффекта в атмосфере Земли.

Ключевые слова: древесные отходы, теплоснабжение, энергосбережение, котельная, экономия, рентабельность, анаэробное разложение древесных отходов.

## SUBSTANTIATION OF EFFICIENCY SAVING TECHNOLOGIES IN INDIVIDUAL HEAT SUPPLY SYSTEM

Lekanova T.L.<sup>1</sup>, Andronov A.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Syktvykar Forest Institute, Syktvykar, Komi Republic, Russia (167982, Syktvykar, Lenin street, 39), e-mail: gregertamara@yandex.ru

The authors of this article try to prove the possibility of switching to energy-saving technologies on the example of teaching and laboratory center located in Syktvykar. The calculation of economic benefit, profitability and payback period was made for successful project realization, for the three types of wood waste: sawdust, wood chips and briquettes. The conclusion of our work is that the most profitable for the same investment costs will be the first one - sawdust uses as fuel. Transformation of individual heating systems for wood waste will reduce the emission of pollutants into the atmosphere compared to the use of coal. Work results also reduce the amount of wood waste accumulating in landfills, the amount of gas anaerobic decomposition and a greenhouse effect in the Earth's atmosphere.

Keywords: wood waste, heat, energy, boiler, savings, profitability, anaerobic decomposition of waste wood.

Климатические изменения все больше представляют угрозу для жизни людей. В 1992 году Организацией Объединённых Наций (ООН) была принята Всеобщая конвенция «О климатических изменениях». Конвенция признаёт, что вследствие деятельности человека в атмосфере значительно увеличилась концентрация газов, вызывающих парниковый эффект. Использование биомассы в качестве возобновляемого энергоресурса вместо каменного угля и нефтепродуктов является одним из способов уменьшения концентрации вредных выбросов. Объем углекислого газа, выделяемый при горении биомассы, имеет нейтральное воздействие на окружающую среду. Использование древесных отходов в процессе производства тепла не только положительно влияет на окружающую среду, но и является экономически эффективным решением вопросов теплоснабжения [4].

В Республике Коми, как и во многих других регионах России, имеется высокий энергетический потенциал, но при этом наблюдается дефицит электрической и тепловой энергии в районах, удаленных от основных промышленных и энергетических центров республики. В структуре топливного баланса Республики Коми преобладает природный газ – 68 %, на долю угля приходится 24 %, мазут составляет 7 % и древесное топливо – около 1%. Использование привозного мазута и угля с высокими транспортными затратами на их доставку формирует высокие тарифы для населения Республики, средний тариф по Республике 1274 руб. в месяц за Гкал. Учитывая прогнозируемый рост цен на газ и экономические ограничения сплошной газификации территории Республики, можно предусматривать устойчивую роль биотоплива в муниципальной энергетике лесных районов [7].

Общая площадь земель лесного фонда в Республике Коми на 1 января 2014 г. составляет 36264,9 тыс. га, или 87,2 % территории Республики [1]. В последние годы энергетическое использование древесных отходов рассматривается как альтернатива традиционным видам топлива. Это связано с тем, что древесные отходы являются нейтральными по отношению к выбросу диоксида углерода, имеют низкое содержание серы, относятся к возобновляемым источникам энергии.

Внедрение системы использования древесных отходов в качестве топлива в индивидуальной системе теплоснабжения учебно-лабораторного центра Сыктывкарского лесного института (СЛИ) является важным для решения проблем, связанных с повышением энергетической эффективности и энергосбережения, согласно основным положениям федерального закона № 261-ФЗ [6].

Во всем мире постепенно отказываются от котельных, работающих на видах топлива, загрязняющих окружающую среду (угле и мазуте) [2]. Кроме экологического риска причиной этому служат малая эффективность и высокие эксплуатационные расходы, особенно стоимость топлива, для традиционной энергетики [3].

Получение готовой продукции из древесины сопровождается выработкой большого количества древесных отходов. Типичное лесоперерабатывающее предприятие превращает около 60 % древесины в доски, при этом 12 % уходит в опил, 6 % – концевые обрезки и 22 % – горбыль и обрезки кромок. Объем опила и стружки на этапе деревообработки достигает 12 % от исходного сырья. За 2012 г фактическая заготовка древесины по Республике Коми составила 7 638 тыс. куб. м. [1]. Отходы лесозаготовок при объеме заготовки 7,6 млн куб. м древесины примерно составляют 1,4 млн куб. м, из них 0,5 млн куб. м в виде сучьев, веток и прочих отходов остается на лесосеках. В составе заготавливаемой древесины 1,5 млн куб. м приходится на дровяную древесину. Сегодня производство биотоплива в Республике Коми

находится на начальном этапе развития. В Республике Коми слабо используется имеющийся потенциал сжигания древесины в качестве энергетического топлива. При этом основное количество древесины сжигается в печах населением и на различных муниципальных объектах.

До реализации проекта теплоснабжение учебно-лабораторного центра осуществлялось от котельной, расположенной на его территории. Котельная предназначена для теплоснабжения трех зданий: общей площадью 1 760 кв. м., объемом 10 200 куб. м. В качестве топлива использовались каменные угли Печорского бассейна интинского месторождения  $Q_{н^p} = 20\,500$  кДж/кг. Древесные отходы местных лесопильных предприятий ввиду отсутствия мощностей по их утилизации вывозились на свалки. В котельной установлены два чугунных секционных котла типа «Универсал – 6М» поверхностью нагрева 33 кв. м. Номинальная мощность одного котла 422 кВт. Водогрейный котёл «Универсал – 6М» – это устройство, имеющее топку, обогреваемую продуктами сгорания топлива и предназначенное для нагревания воды, находящейся под давлением выше атмосферного и используемой в качестве теплоносителя вне самого устройства. Теплоноситель – вода с температурой 95 – 70 °С.

Общее теплотребление зданий учебно-лабораторного центра СЛИ составляет 856 007 кВт-ч/год, из них: 566 402 кВт-ч/год – учебно-производственный корпус; 263 300 кВт-ч/год – материально-технический склад; 26 305 кВт-ч/год – лыжная база. Существующая схема теплоснабжения представлена на рис. 1.

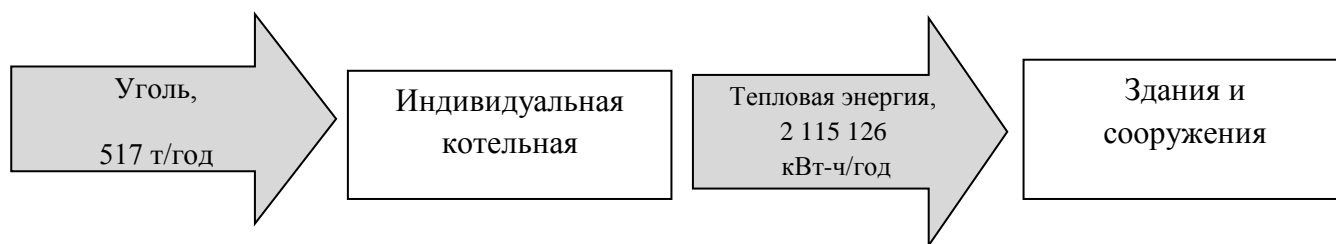


Рис. 1. Теплоснабжение площадки (текущая ситуация)

Для реализации проекта был подобран комплекс котельной на базе котла КТУ-500 с топливным складом (ПО «Теплоресурс», г. Ковров), который удовлетворяет всем необходимым требованиям по тепловой мощности. В дальнейшем были рассмотрены 3 варианта: перевод котельной с угля на опилки, перевод котельной с угля на щепу, перевод котельной с угля на брикеты.

Чистая годовая экономия после реализации проекта при переводе котельной с угля опилки составит 1 758 898 руб/год, с угля на щепу – 1 397 098 руб/год (табл. 1). При переводе котельной с угля на брикеты чистая годовая экономия представляет собой

отрицательную величину и составляет – 255 292 руб/год. Таким образом, в данном варианте расходы превышают доходы. Учитывая показатель годовой экономии, из рассмотренных вариантов предпочтительным является Вариант 1: перевод котельной с угля на опилки, который имеет наибольшую экономию в год – 1 758 898 руб/год.

Таблица 1

Чистая годовая экономия

Элементы экономии	Текущая ситуация		После внедрения мероприятия		Чистая экономия	
	К ол-во	(руб/ год)	Кол -во	(руб/ год)	Кол -во	(руб/го д)
<b>Вариант 1. Перевод котельной с угля на опилки</b>						
Топливо (уголь), т	51 7	2 223 100	0	0	517	2 223 1 00
Топливо (опилки), т	0	0	1 31 6	197 4 00	-	- 197 400
Электроэнергия, кВт-ч	14 800	56 83 2	74 4 00	284 9 52	596 00	- 228 120
Вода, м <sup>3</sup>	1 071	37 06 7	1 071	37 06 7	-	0
Плата за НВОС, т	63 ,405	11 904	15,1 40	7 025	48,2 65	4 879
Зарплата персонала, чел.	4	726 0 28	4	769 5 89	-	- 43 561
<b>Общая чистая экономия по варианту 1</b>						<b>1 758 8 98</b>
<b>Вариант 2. Перевод котельной с угля на щепу.</b>						
Топливо (уголь), т	51 7	2 223 100	0	0	517	2 223 1 00
Топливо (щепа), т	0	0	932	559 200	932	- 559 200
Электроэнергия, кВт-ч	14 800	56 83 2	74 4 00	284 9 52	59 600	- 228 120
Вода, м <sup>3</sup>	1 071	37 06 7	1 071	37 06 7	-	0
Плата за НВОС, т	63 ,405	11 904	15,1 40	7 025	48,2 65	4 879
Зарплата персонала, чел.	4	726 0 28	4	769 5 89	-	- 43 561
<b>Общая чистая экономия по варианту 2</b>						<b>1 397 098</b>
<b>Вариант 3. Перевод котельной с угля на брикеты.</b>						
Топливо (уголь), т	51 7	2 223 100	0	0	517	2 223 1 00
Топливо (брикеты), т	0	0	570	2 280 000	570	- 2 280 000
Электроэнергия, кВт-ч	14 800	56 83 2	56 544	216 563	41 744	- 159 710
Вода, м <sup>3</sup>	1 071	37 06 7	1 071	37 06 7	-	0
Плата за НВОС, т	63 ,405	11 904	15,1 40	7 025	48,2 65	4 879
Зарплата персонала, чел.	4	726 0 28	4	769 5 89	-	- 43 561
<b>Общая чистая экономия по варианту 3</b>						<b>-255 292</b>

Инвестиционные затраты по проекту включают в себя следующие основные элементы: проектирование; управление проектом; оборудование и материалы; монтаж и пуско-наладочные работы; транспортные расходы; строительство; непредвиденные расходы. Инвестиционные затраты по вариантам 1 и 2 составляют 4752 900 руб, по варианту 3 – 2 420 600 руб. В комплект оборудования по варианту 3 не вошли топливный склад и система топливоподачи, так как они предназначены только для автоматизированного приема сыпучего топлива.

Ежегодные эксплуатационные затраты после введения котельной в эксплуатацию включали следующие элементы: топливо; электроэнергия; вода; заработная плата. Годовые затраты по проекту по варианту 1 составили – 1 289 008 руб/год, по варианту 2 – 1 650 808 руб/год, по варианту 3 – 3303 219 руб/год. Увеличение затрат по вариантам 2 и 3 по сравнению с вариантом 1 обусловлено тарифами на эти виды топлива: опилки – 150 руб/т; щепа – 600 руб/т; брикеты – 4000 руб/т.

Рентабельными являются варианты 1, 2, нерентабелен вариант 3 (табл. 2). Оптимальным признан вариант 1, т.к. при одинаковых с вариантом 2 инвестиционных затратах он приносит большую годовую экономию, более короткий срок окупаемости и более высокую доходность. Вариант 1 будет использован для дальнейшей реализации.

Таблица 2

Рентабельность проекта

Показатель	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
<b>Итого, инвестиции, руб.</b>	<b>4 752 900</b>	4 752 900	2 420 600
<b>Чистая экономия, руб./год</b>	<b>1 758 898</b>	1 397 098	- 255 292
Окупаемость, лет	2,7	3,4	-
Чистая текущая стоимость (NPV), руб.	8 608 908	5 860 316	-
Внутренняя норма доходности (IRR), %	34,4	25,6	-

Условия: экономический срок эксплуатации = 10 лет.

После реализации проекта негативное воздействие на окружающую среду снизится за счет уменьшения вредных выбросов котельной при переходе от сжигания угля на сжигание опилок. Ниже приведено сокращение потребления угля, увеличение потребления электроэнергии, а также сокращение количества древесных отходов, размещаемых на свалках.

Расчетная экономия:

Снижение потребления топлива = 2 533 Гкал/год = 517 т/год  
 (угля), необходимого для получения тепловой энергии  
 Увеличение потребления = 59 600 кВт-ч/год  
 электроэнергии за счет внедрения механизации подачи топлива  
 Уменьшение количества древесных отходов, размещаемых на свалках = 1 316 т/год

Важной особенностью древесной биомассы, как топлива, является отсутствие в ней серы и незначительное содержание внутренней золы – не более 1%. Существующее количество образования золошлаков от сжигания углей составляет 137 т/год. Образование золы от сжигания древесных отходов после реализации проекта составит 16 т/год.

Реализация проекта приведет к снижению вредных выбросов в атмосферу (рис. 2). Данные для рисунка 2 рассчитаны на основе: сокращения потребления угля (517 т/год), а также сокращения количества древесных отходов, размещаемых на свалках (1 316 т/год).

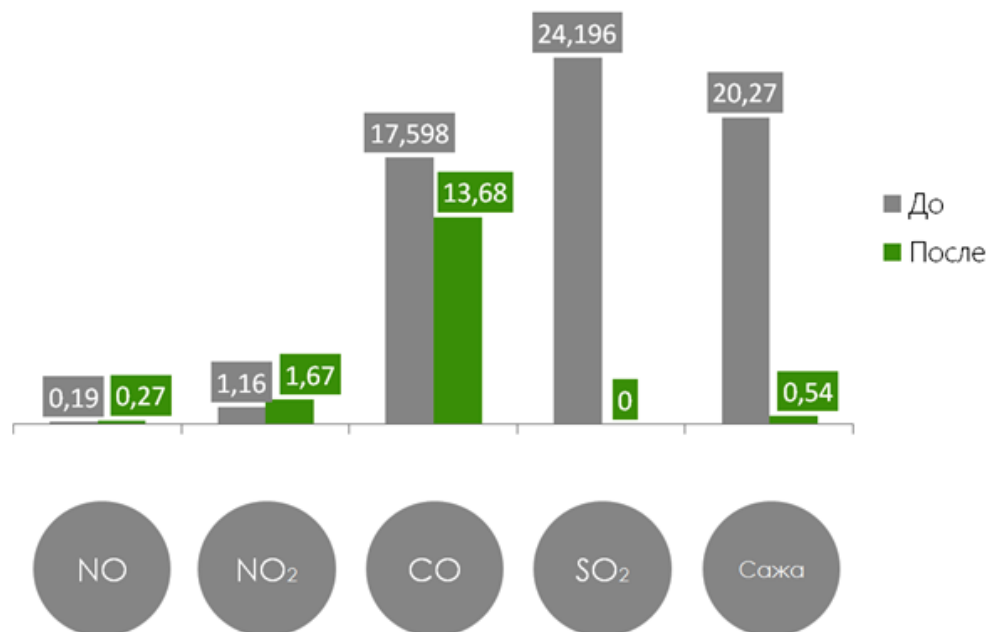


Рис. 2. Снижение вредных выбросов в атмосферу от внедрения проекта(т/год)

Реализация проекта приведет к сокращению выбросов парниковых газов от сжигания ископаемого топлива и анаэробного разложения древесных отходов на свалках. Анаэробное разложение древесных отходов на свалках сопровождается выделением CH<sub>4</sub>. Уменьшение количества выбросов метана составит 121 т/год. Расчет эмиссии метана с полигонов (табл. 3) выполнен на основании руководящих указаний МГЭИК по эффективной практике и учету факторов неопределенности в национальных кадастрах парниковых газов, 2000) [8]:

$$E_{CH_4} = (MSW \cdot MCF \cdot DOC \cdot DOCf \cdot F \cdot 16/12 - R) \cdot (1-OX),$$

где  $E_{CH_4}$  – выброс метана, Гг/год;  $MSW$  – общее количество отходов, захороненных на свалках за год;  $MCF$  – коэффициент коррекции потока метана, доля (0,6);  $DOC$  – потенциально разлагаемое органическое вещество (определяется по составу отходов);  $DOCf$  – доля  $DOC$ , которая фактически разлагается (типичное значение 0,77);  $F$  – доля метана в образующихся на свалках газа (типичное значение 0,5); 16/12 – коэффициент преобразования C в CH<sub>4</sub>;  $R$  – утилизированный метан (Гг/год);  $OX$  – коэффициент окисления (обычно = 0).

Таблица 3

Результаты расчета эмиссии метана из 1 316 т отходов и пересчет в эквивалент диоксида углерода CO<sub>2</sub>

Наименование объекта отходов	Эмиссия метана, т / т отходов	Количество древесных отходов, т/год	Эквивалент CO <sub>2</sub> , т/ т отходов	Количество метана CH <sub>4</sub> , т/год	Эквивалент CO <sub>2</sub> , т/ год
Полигон древесных опилок	0,092	1 316	1,941	121,07	2 554,356

Расчет платы за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух выполняется по формуле:

$$Пл = \sum(M_i \cdot H_{нли} \cdot K_{эк}),$$

где  $Пл$  – плата за выброс загрязняющего вещества, руб.;  $M_i$  – фактическая масса выброса загрязняющего вещества, т;  $H_{нли}$  – норматив платы, руб./т;  $K_{эк}$  – коэффициент, учитывающий экологические факторы.

Согласно Федеральному закону от 02.12.2013 № 349-ФЗ [5] нормативы платы за негативное воздействие на окружающую среду, установленные Правительством Российской Федерации в 2003 г. и в 2005 г., применяются в 2014 г. с коэффициентом соответственно 2,33 и 1,89. Сумма платы за загрязнение атмосферного воздуха представлена в табл. 4.

Таблица 4

Расчет платы за выбросы загрязняющих веществ

п/п	Наименование загрязняющего вещества	Кол-во ЗВ, т/год	Нормативы платы за выброс 1 т ЗВ, руб.	Кэф., учит. экол. фактор для районов Северо-Запада	Кэф. инфляции	Плата за год, руб.
при существующем уровне						
	NO	0,188	35	1,4	2,33	21,464
	NO <sub>2</sub>	1,157	52	1,4	2,33	196,255
	CO	17,598	0,6	1,4	2,33	34,443
	SO <sub>2</sub>	24,196	21	1,4	1,89	1 344,475
	Сажа	20,265	80	1,4	1,89	4 289,695
	Бенз(а)пирен	0,0009	2 049 801	1,4	2,33	6 017,806
	<b>ИТОГО</b>					<b>11 904,138</b>
после реализации проекта						
	NO	0,270	35	1,4	2,33	30,826
	NO <sub>2</sub>	1,662	52	1,4	2,33	281,915
	CO	13,206	0,6	1,4	2,33	25,846
	Бенз(а)пирен	0,001	2 049 801	1,4	2,33	6 686,450
	<b>ИТОГО</b>					<b>7 025,037</b>

Таким образом, реализация проектных мероприятий позволит: повысить качество и надежность теплоснабжения учебно-лабораторного центра; сократить вывоз древесных опилок на свалки; исключить потребление каменного угля в старой котельной учебно-лабораторного центра; сократить финансовые издержки на содержание котельной; снизить негативное воздействие на окружающую среду; сократить выбросы метана на свалках древесных отходов; сократить выбросы парниковых газов (ПГ).

### Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2012 году» [Электронный ресурс] / Мин-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Коми. – Сыктывкар, 2013. – 199 с. – Режим доступа: [http://gov.rkomi.ru/content/7564/2013.07.05\\_%D0%93%D0%94\\_2012.pdf](http://gov.rkomi.ru/content/7564/2013.07.05_%D0%93%D0%94_2012.pdf). – (Дата обращения: 1.04.2014).
2. Леканова Т.Л., Чупров В.Т., Лапин С.Е. Пути модернизации кавитационного теплогенератора // Юбилейные февральские чтения : сб. матер. науч.-практ. конф. профессорско-преподават. состава Сыкт. лесн. ин-та по итогам науч.-исследоват. работ в 2011 году: науч. электрон. изд. / Сыкт. лесн. ин-т – фил. ГБОУ ВПО «С.-Петерб. гос. лесотехн. ун-т им. С.М. Кирова». – Сыктывкар: СЛИ, 2012. –С. 492-496.
3. Леканова Т.Л., Чупров В.Т., Лапин С.Е. Результаты исследований тепломассообменных процессов и их внедрение в учебный процесс // Юбилейные февральские чтения : сб. матер. науч.-практ. конф. профессорско-преподават. состава Сыкт. лесн. ин-та по итогам науч.-исследоват. работ в 2011 году : науч. электрон. изд. / Сыкт. лесн. ин-т – фил. ГБОУ ВПО «С.-Петерб. гос. лесотехн. ун-т им. С. М. Кирова». – Сыктывкар: СЛИ, 2012. – С. 462-469.
4. Леканова Т.Л., Чупров В.Т. Установка многотопливного котла на Монди СЛПК для выработки энергии на собственные нужды и утилизации отходов биомассы // Региональные аспекты развития биоэкономики : сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. (Киров, 27-28 июня 2013 г.). – Киров, 2013. – С. 36-37.
5. О федеральном бюджете на 2014 год и на плановый период 2015 и 2016 годов: федеральный закон от 02.12.2013 №349-ФЗ (ред. от 28.06.2014). – Режим доступа :<http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=165201>.
6. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федеральный закон от 23 ноября 2009 г. №261-ФЗ. – Министерство энергетики Российской Федерации. – Режим доступа : <http://www.energsovet.ru/fzakon.html>.



7. Основные направления развития лесопромышленного комплекса Республики Коми на 2010–2015 гг. и на период до 2020 г. // Мин-во развития промышленности, транспорта и связи Респ. Коми. – Сыктывкар, 2014. – 54 с. – Режим доступа: <http://minprom.rkomi.ru/page/5912/>. – (Дата обращения: 03.09.2014).

8. Good practice guidance and uncertainty management in national GHG inventories (Руководящие указания по эффективной практике и учету факторов неопределенности в национальных кадастрах парниковых газов // МГЭИК–2000. – Режим доступа: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/russian/>).

**Рецензенты:**

Чукреев Ю.Я., д.т.н., ведущий научный сотрудник, директор института социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, г. Сыктывкар;

Кочева Л.С., д.х.н., руководитель лаборатории химии минерального сырья Института геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар.