УДК 633.2/63:631.53.02

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-352-9-97-100>

Краткий обзор/Brief review

**Нелюбина Ж.С.,
Касаткина Н.И.***Удмуртский ФИЦ УрО РАН, ул. Т. Барамзиной,
34, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Россия,
426067**E-mail: ugniish-nauka@yandex.ru***Ключевые слова:** ультрафиолетовое облучение, лядвенец рогатый, кострец безостый, всхожесть, твердосемянность, сила роста**Для цитирования:** Нелюбина Ж.С., Касаткина Н.И. Влияние ультрафиолетового облучения семян многолетних трав на их посевные качества. *Аграрная наука.* 2021; 352 (9): 97–100.<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-352-9-97-100>**Конфликт интересов отсутствует****Zhanna S. Nelyubina,
Nadezhda I. Kasatkina***Udmurt Federal Research Center of the UB of
the RAS, 34, T. Baramzina st., Izhevsk, Udmurt
Republic, Russia, 426067**E-mail: ugniish-nauka@yandex.ru***Key words:** ultraviolet irradiation, birds-foot trefoil, awnless brome, germination, seed hardness, strength of growth**For citation:** Nelyubina Zh.S., Kasatkina N.I. Influence of ultraviolet irradiation of perennial grasses seeds on their sowing quality. *Agrarian Science.* 2021; 352 (9): 97–100. (In Russ.)<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-352-9-97-100>**There is no conflict of interests**

Влияние ультрафиолетового облучения семян многолетних трав на их посевные качества

РЕЗЮМЕ

В предпосевной подготовке семян новым направлением является экологичное и энергоэффективное ультрафиолетовое облучение, которое повышает всхожесть, снижает инфицированность семян, улучшает силу роста, поэтому в УдмФИЦ УрО РАН в 2019 г. был заложен опыт по изучению влияния УФ-облучения на посевные качества и морфофизиологические параметры семян лядвенца рогатого и костреца безостого. Использование УФ-лучей диапазона А с длиной волны 315–400 нм в течение 5 мин снижало инфицированность семян лядвенца на 3,2%, увеличивало длину роста на 0,81 см и силу роста — на 5,4% по сравнению с необработанными семенами. Также имелась тенденция снижения твердосемянности на 2,5%, увеличения длины корешка — на 0,41 см, степени развития проростков — на 0,12 баллов. Для семян костреца безостого наиболее эффективной оказалась УФ-обработка в течение 35 мин, которая приводила к увеличению всхожести на 14,5%, снижению инфицированности семян на 5,8%. Также имелась тенденция улучшения морфологических показателей проростков: увеличивалась длина роста на 0,9 см, длина корешка — на 0,88 см, длина coleoptile — на 0,30 см. Сила роста в данном варианте была на 9,3% выше, чем в контрольном без обработки. В целом обработка семян многолетних трав ультрафиолетом снижала инфицированность, повышала лабораторную всхожесть и силу роста, снижала твердосемянность.

Influence of ultraviolet irradiation of perennial grasses seeds on their sowing quality

ABSTRACT

A new direction in pre-sowing seed preparation is environmentally friendly and energy-efficient ultraviolet irradiation, which increases germination, reduces seed infection, and improves growth force. In this regard, the experiment of studying the effect of UV irradiation on the sowing qualities and morphophysiological parameters of the seeds of the birds-foot trefoil and awnless brome was laid at the UdmFRC UB RAS in 2019. Use of UV rays of range A with a wavelength of 315–400 nm for 5 min reduced the infection of the birds-foot trefoil seeds by 3.2%, increased the length of the sprout by 0.81 cm and the strength of growth — by 5.4% in comparison with untreated seeds. There was also a tendency for a decrease in seed hardness by 2.5%, an increase in root length by 0.41 cm, and the degree of seedling development by 0.12 points. The most effective for awnless brome seeds was UV treatment for 35 minutes, which led to an increase in germination by 14.5%, a decrease in seed infection by 5.8%. There was also a tendency to improve the morphological parameters of seedlings: the length of the sprout increased by 0.9 cm, the length of the root — by 0.88 cm, the length of the coleoptile — by 0.30 cm. The strength of growth in this variant was 9.3% higher than in the control without treatment. In general, the treatment of perennial grasses seeds with ultraviolet light reduced infection, increased laboratory germination and strength of growth, and reduced seed hardness.

Поступила: 10 июня
После доработки: 15 июня
Принята к публикации: 12 сентября

Received: 10 June
Revised: 15 June
Accepted: 12 September

Введение

Кормопроизводство играет важную роль в обеспечении продовольственной безопасности населения. Для производства высокобелковых кормов важное значение имеют многолетние бобовые травы. Одной из перспективных бобовых культур является лядвенец рогатый, который может произрастать на почвах с кислотностью ниже 4,5, засухоустойчив, имеет период продуктивного долголетия 5 и более лет, в 1 кг сухого вещества содержит 15–18% сырого протеина [1, 2, 3]. Однако распространение в производстве происходит медленно, что связано с особенностями культуры: мелкосемянность и большое количество твердых семян (до 50%), что снижает полевую всхожесть. Высокая прочность поверхностной пленки сдерживает набухание семени и не позволяет развиваться зародышу [4, 5].

Одной из распространенных мятликовых культур является костреч безостый, который обладает продуктивным долголетием (до 15 лет), засухоустойчив, холодоустоек, является одной из лучших культур для заготовки качественного кормового сырья. Семена костреча имеют низкую всхожесть в год сбора, так как имеют мощную оболочку, препятствующую набуханию семени [6].

Подготовка семян к посеву включает очистку, сортирование, протравливание, воздушно-тепловую обработку и другие приемы в зависимости от культуры и состояния семян. В последние годы для интенсификации растениеводства в практику сельского хозяйства стали внедрять электротехнологические методы воздействия на семена культурных растений с целью их стимуляции — ускорения роста, повышения урожайности и улучшения качества получаемой продукции. Одним из таких методов является облучение ультрафиолетовыми лучами. При использовании в предпосевной подготовке семян ультрафиолетового излучения происходит активация процесса прорастания, увеличивается энергия прорастания, всхожесть, что положительно влияет на урожайность и качество продукции [7]. Повышение лабораторной всхожести семян зерновых культур колеблется от 2 до 10% [8, 9, 10]. При длине волны 205–315 нм (зона В и С) УФ-излучение обладает бактерицидным действием и эффективно инактивирует микроорганизмы различных типов: споры, бактерии, дрожжи и прочее. Ультрафиолетовое излучение, в отличие от ионизирующего, обладает большей проникающей способностью и высокой степенью поглощения практически всеми твердыми веществами. Как правило, при УФ-облучении твердых частиц обрабатывается только тончайший слой, а основная масса вещества не подвергается никакому воздействию и, соответственно, не изменяет своих биохимических свойств. В этом и заключается преимущество УФ-обработки по сравнению с другими методами обеззараживания [11, 12]. Этот способ представляет интерес в виду своей простоты, дешевизны, энергоэффективности, высокой производительности и экологичности, т. к. УФ-светодиоды (УФ-LED) не содержат ртути, в отличие от разрядных ламп [13, 14, 15].

Однако имеется разная информация о положительном и отрицательном действии ультрафиолетовой радиации на семена [8, 12, 16, 17, 18]. Влияние ультрафиолетовых лучей, находящихся в зоне УФ-А (315–400 нм), недостаточно изучено на предмет изменения посевных свойств семян многолетних трав, их инфицированности (зараженности возбудителями болезней) и морфобиологических показателей.

В опытах 2019 г. изучали влияние ультрафиолетового излучения на семена лядвенца рогатого и костреча

безостого при помощи УФ-излучателя, разработанного на кафедре автоматизированного электропривода Ижевской ГСХА. Был изготовлен УФ-излучатель, в котором 90% энергии находится в зоне УФ-А (315–400 нм). Целью наших исследований являлось определение влияния ультрафиолетового облучения на посевные качества семян лядвенца рогатого и костреча безостого. В задачи входило: установление лабораторной всхожести семян, формирования проростков многолетних трав в зависимости от УФ-облучения.

Методика

Исследование проводили в 2019 г. в лаборатории Удмуртского НИИСХ УдмФИЦ УрО РАН. Проращивали семена бобовой культуры лядвенца рогатого Солнышко и мятликовой — костреча безостого Свердловский 38. Семена лядвенца рогатого обрабатывали ультрафиолетовыми светодиодами в диапазоне излучения 315–400 нм в зоне УФ-А в течение 5, 10 и 15 минут, при средней энергетической освещенности 3,137 Вт/м², в четырехкратной повторности. Семена костреча безостого подвергались УФ-облучению в течение 15, 25 и 35 минут. Семенной материал проращивали в рулонах из увлажненной фильтровальной бумаги, которые устанавливали в термостат с температурой 20 °С. Лабораторную всхожесть определяли по ГОСТ 12038-84 [19] на 10-й день. Одновременно провели оценку семян по морфофизиологическим параметрам проростков по «Методике определения силы роста семян кормовых растений», 2012 [20]. Полученные результаты исследований были проанализированы и обработаны методом дисперсионного анализа, изложенным Б.А. Доспеховым [21], с использованием программы Microsoft Office Excel 2010.

Результаты

Основным критерием оценки качества посевного материала служит показатель лабораторной всхожести, так как он показывает процент семян, давших проростки в стандартных условиях влажности и температуры. Лабораторная всхожесть семян лядвенца рогатого была высокой — 98,5–100% (табл. 1). Предпосевная обработка семян ультрафиолетовым облучением не повлияла на показатель всхожести. Доля твердых семян составила 23,3–31,3%. При обработке ультрафиолетовыми лучами в течение 5 мин данный показатель снижался на 2,5%, но в пределах ошибки опыта. При более длительном облучении (15 мин) твердокаменность семян лядвенца возрастала на 5,5% (НСР₀₅ — 4,4 %).

Обработка семян лядвенца ультрафиолетом снижала инфицированность семян возбудителями болезней на 3,2–3,9% в зависимости от времени воздействия, что подтверждает обеззараживающее действие УФ-облучения.

Костреч безостый Свердловский 38 в опыте имел всхожесть в контрольном варианте 63,5%. Достоверное повышение лабораторной всхожести на 14,5% отмечено в варианте с использованием 35-минутного облучения ультрафиолетом. В остальных вариантах данный показатель был ниже или на уровне контрольного. Инфицированность семян костреча снизилась на 3,8–6,0% во всех вариантах с применением ультрафиолета.

Для оценки урожайных качеств семян используют показатели степени развития проростков и силы роста [22]. Эти показатели характеризуют то, смогут ли растения в полевых условиях сформировать качественные проростки и дать высокий урожай. В наших условиях

Таблица 1. Влияние УФ облучения на лабораторную всхожесть и инфицированность семян многолетних трав, % (2019 г.)

Table 1. Influence of UV irradiation on laboratory germination and infection of perennial grasses seeds, % (2019)

Вариант	Лабораторная всхожесть		Инфицированность
	всего	в т.ч. твердых	
Лядвенец рогатый Солнышко			
Без обработки (к)	100	25,8	15,2
УФ 5 минут	100	23,3	12,0
УФ 10 минут	99,5	25,0	11,3
УФ 15 минут	98,5	31,3	11,8
НСР ₀₅	$F_{\phi} < F_T$	4,4	2,1
Кострец безостый Свердловский 38			
Без обработки (к)	63,5	–	26,0
УФ 15 минут	50,5	–	20,0
УФ 25 минут	63,0	–	22,2
УФ 35 минут	78,0	–	20,2
НСР ₀₅	4,1		2,3

Таблица 2. Морфологическая оценка проростков семян многолетних трав и сила роста

Table 2. Morphological assessment of seedlings of perennial grasses seeds and strength of growth

Вариант	Длина, см			Степень развития проростков, балл	Сила роста, %
	ростка	корешка	колеоптиле		
Лядвенец рогатый Солнышко					
Без обработки (к)	2,52	0,92	–	2,47	14,3
УФ 5 минут	3,33	1,33	–	2,59	19,7
УФ 10 минут	3,33	1,09	–	2,53	16,3
УФ 15 минут	2,25	0,65	–	2,19	6,7
НСР ₀₅	0,78	0,45		$F_{\phi} < F_T$	1,1
Кострец безостый Свердловский 38					
Без обработки (к)	3,65	2,93	1,59	3,82	46,5
УФ 15 минут	2,86	2,59	1,19	3,72	34,5
УФ 25 минут	3,46	3,06	1,49	3,54	41,2
УФ 35 минут	4,55	3,81	1,89	3,65	55,8
НСР ₀₅	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	0,45	$F_{\phi} < F_T$	2,9

относительно наибольшая длина ростка 3,33 см у лядвенца рогатого была сформирована при облучении ультрафиолетом в течение 5 и 10 мин, что существенно выше (на 0,81%), чем в варианте без обработки (табл. 2). Длина корешка в данных вариантах также имела тенденцию к увеличению. При более длительной обработке (15 мин) длина корешка уменьшилась.

Степень развития проростков лядвенца была невысокой и составила 2,19–2,59%. Использование УФ-лучей

чей не повлияло на данный показатель, однако отмечали тенденцию увеличения его до 2,53–2,59% при обработке в течение 5 и 10 мин. Сила роста семян лядвенца увеличивалась при применении ультрафиолета в течение 5 и 10 мин на 2,0–5,4% (НСР₀₅ — 1,1 %), в течение 15 мин — снизилась на 7,6%.

Кострец безостый в контрольном варианте имел длину ростка 3,65 см. Тенденция увеличения данного показателя до 4,55 см отмечена в варианте с наиболее продолжительным временем — 35 мин облучения семян. Такая же закономерность выявлена и по другому показателю — длине корешка. Для злаковых культур важен такой показатель, как длина coleoptile. Наибольшую длину coleoptile (1,89 см) зафиксировали в варианте с УФ-обработкой 35 мин.

Степень развития проростков семян костреца по всем изучаемым вариантам была одинаковой — 3,54–3,82%. Сила роста семян без предпосевной обработки составила 46,5%, увеличиваясь на 9,3% (НСР₀₅ — 2,9%) при использовании УФ-облучения в течение 35 мин.

Выводы

Таким образом, предпосевная обработка семян лядвенца рогатого и костреца безостого ультрафиолетовым облучением в А-зоне (315–400 нм) влияет на их посевные качества. Использование УФ-лучей в течение 5 мин снижало инфицированность семян лядвенца на 3,2%, увеличивало длину ростка на 0,81 см и силу роста — на 5,4% по сравнению с необработанными семенами. Также имела тенденция снижения твердокаменности на 2,5%, увеличения длины корешка — на 0,41 см, степени развития проростков — на 0,12 баллов. Для семян костреца безостого наиболее эффективной оказалась УФ-обработка в течение 35 мин, которая приводила к увеличению всхожести на 14,5%, снижению инфицированности семян на 5,8%. Также имела тенденция улучшения морфологических показателей проростков: увеличивалась длина ростка на 0,9 см, длина корешка — на 0,88 см, длина coleoptile — на 0,30 см. Сила роста в данном варианте была на 9,3% выше, чем в контрольном без обработки-

ЛИТЕРАТУРА

1. Мухина Н. А. Агроботаническое изучение лядвенца рогатого. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. Ленинград: Колос. 1970;43(II): 143-147. [Mukhina N. A. Agrobiological study of the birds-foot trefoil. Works on applied botany, genetics and breeding. Leningrad: Kolos. 1970;43(II): 143-147. (In Russ.)].

2. Медведев П. Ф. Малораспространенные кормовые культуры. Ленинград: Колос. 1970. 160 с. [Medvedev P. F. Uncommon forage crops. Leningrad: Kolos. 1970. 160 p. (In Russ.)].

3. Тумасова М. И., Грипас М. Н. Новый сорт лядвенца рогатого Солнышко. Материалы научно-практической конференции (8-9 июля 1999 года). Киров. 1999.: 69-74. [Tumasova M. I., Gripas M. N. New variety of birds-foot trefoil Solnyshko. Materials of the scientific-practical conference (8-9 July 1999). Kirov. 1999.: 69-74. (In Russ.)].

Materials of the scientific-practical conference (July 8-9, 1999). Kirov. 1999.: 69-74. (In Russ.).

4. Образцов В. Н. Лядвенец рогатый в черноземной лесостепи: монография. Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ. 2012. 233 с. [Obraztsov V. N. The birds-foot trefoil in the chernozem forest-steppe: monograph. - Voronezh: FSBEI HPE Voronezh GAU. 2012. 233 p. (In Russ.).]

5. Тумасова М. И. Сорт лядвенца рогатого Солнышко, особенности технологии возделывания. Информ. листок № 24-171-02. Кировский ЦНТИ. 2002. [Variety of birds-foot trefoil Solnyshko, features of cultivation technology. Information leaflet № 24-171-02. Kirov CSTI. 2002. (In Russ.).]

6. Андреев Н. Г., Савицкая В. А. Кострец безостый. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат. 1988. 184 с. [Andreev N. G., Savitskaya V. A. Awnless brome. – 2nd ed., rev. and add.. M.: Agropromizdat. 1988. 184 p. (In Russ.).]

7. Мейер А., Зейтц Э. Ультрафиолетовое излучение. Получение, измерение и применение в медицине, биологии и технике. М.: Иностранная литература. 1952. 574 с. [Meyer A., Seitz E. Ultraviolet irradiation. Obtaining, measurement and application in medicine, biology and technology. M.: Foreign literature. 1952. 574 p. (In Russ.).]

8. Курьева А. Г. Эффективность ультрафиолетового облучения семян зерновых культур. Пермский аграрный вестник. 2019;4(28): 47-52. [Kuryleva A. G. Efficiency of ultraviolet irradiation of grain crops seeds. Perm Agrarian Bulletin. 2019;4(28): 47-52. (In Russ.).]

9. Курочкина О. А. Предпосевная обработка семян яровой пшеницы ультрафиолетовыми лучами: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Курган. 2009. 20 с. [Kurochkina O. A. Pre-sowing treatment of spring wheat seeds with ultraviolet rays: The Abstract of the dissertation ... of the candidate of agricultural science. Kurgan. 2009. 20 p. (In Russ.).]

10. Душева М. В. Изучение предпосевной обработки семян яровой пшеницы сорта Терция магнитным полем и тепловым обогревом: Дис... канд. с.-х. наук. Курган. 2005. 159 с. [Dusheva M. V. Study of pre-sowing treatment of spring wheat seeds varieties Tertsia with a magnetic field and heat heating: Abstract of the dissertation ... of the candidate of agricultural science. Kurgan. 2005. 159 p. (In Russ.).]

11. Ходунова О. С., Силантьева Л. А. Влияние различных способов обработки на микробиологические показатели пророщенных семян овса. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2017;1: 3-8. [Khodunova O. S., Silantjeva L. A. Influence of different processing methods on microbiological parameters of germinated oat seeds. Scientific journal NRU ITMO. Series "Processes and Food Production Equipment". 2017;1: 3-8. (In Russ.).]

12. Кондратьева Н. П., Романов В. Ю., Чефранова М. Н., Нуреева Т. В., Корепанов Д. А., Краснолуцкая М. Г., Большин Р. Г. Перспективы использования электротехнологии для повышения посевных качеств семян УФ-излучением. Известия Международной академии аграрного образования. 2015;24: 10-13. [Kondratieva N. P., Romanov V. Yu., Chefranova M. N., Nureeva T. V., Korepanov D. A., Krasnolutsкая M. G., Bolshin R. G. Perspektivy ispol'zovaniya elektrotekhnologii dlya povysheniya posevnykh kachestv semyan UF-izlucheniem. Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarno-go obrazovaniya. 2015;24.: 10-13. (In Russ.).]

13. Кондратьева Н. П., Большин Р. Г., Краснолуцкая М. Г.

Энергоэффективное энергосберегающие светодиодные облучательные установки // Вестник ВИЭСХ. 2016;3(24): 48-53. [Kondratieva N. P., Bolshin R. G., Krasnolutsкая M. G. Energy efficient energy saving LED irradiators. VIESH Bulletin. 2016;3(24): 48-53. (In Russ.).]

14. Кондратьева Н. П., Владыкин И. Р., Баранова И. А., Большин Р. Г., Краснолуцкая М. Г. Энергосберегающие электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве. Инновации в сельском хозяйстве. 2016;4(19): 11-16. [Kondratieva N. P., Vladyskin I. R., Baranova I. A., Bolshin R. G., Krasnolutsкая M. G. Energy-saving electrical technologies and electrical equipment in agriculture. Innovations in agriculture. 2016;4(19): 11-16. (In Russ.).]

15. Kondratieva NP, Vladyskin IR, Litvinova VM, Krasnolutsкая MG, Bolshin RG. Energy saving technologies and electric equipment apppeled in agriculture. Research in Agricultural Electric Engineering. 2016;2: 62-68.

16. Кондратьева Н. П., Кислякова Е. М., Ильясов И. Р., Корепанов Р. И., Кириллов Н. К., Касаткина Н. И., Курьева А. Г. Эффект от обработки семян зерновых и кормовых культур ультрафиолетовым излучением. Перспективы развития аграрных наук: Материалы Международной научно-практической конференции г. Чебоксары. 2019: 89-90. [Kondratieva N. P., Kislyakova E. M., Ilyasov I. R., Korepanov R. I., Kirillov N. K., Kasatkina N. I., Kuryleva A. G. The effect of treating seeds of grain and forage crops with ultraviolet radiation. Prospects for the development of agrarian sciences: Materials of the International Scientific and Practical Conference in Cheboksary. 2019: 89-90. (In Russ.).]

17. Тертышная Ю. В., Левина Н. С., Елизарова О. В. Воздействие ультрафиолетового излучения на всхожесть и ростовые процессы семян пшеницы. Достижения науки и техники АПК. 2017;2: 31-36 [Tertyshnaya Yu. V., Levina N. S., Elizarova O. V. Vozdejstvie ul'trafiioletovogo izlucheniya na vskhozhest' i rostovye processy semyan pshenicy. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2017;2: 31-36. (In Russ.).]

18. Kurdzil M., Filek M., Zhabanovska M. The effect of short-term UV irradiation on grains of sensitive and tolerant grain genotypes studied by the EPR method. J Sci Food Agric. May 2018; 98 (7): 2607-2616.

19. ГОСТ 12038-84. Методы определения всхожести [GOST 12038-84. Methods for determination of germination. (In Russ.).]

20. Карпин В. И., Переправо Н. И., Золотарев В. Н., Рябова В. Э., Шамсутдинова Э. З., Козлова Т. В. Методика определения силы роста семян кормовых растений. М.: Изд-во РГАУ – МСХА. 2012. 16 с. [Karpin V. I., Perepravo N. I., Zolotarev V. N., Ryabova V. E., Sham-sutdinova E. Z., Kozlova T. V. Method for determining the strength of growth of fodder plants seeds. M.: Publishing house RSAU - MAA. 2012. 16 p. (In Russ.).]

21. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос. 1985. 416 с. [Dospikhov B. A. Field experiment technique. M.: Kolos. 1985. 416 p. (In Russ.).]

22. Ларионов Ю. С. Оценка урожайных свойств и урожайного потенциала семян зерновых культур. – Челябинск: ЧГАУ. 2000. 100 с. [Larionov Yu. S. Assessment of yield properties and yield potential of grain crops. - Chelyabinsk: CHGAU. 2000. 100 p. (In Russ.).]

ОБ АВТОРАХ:

Нелюбина Жанна Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Удмуртского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук

Касаткина Надежда Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Удмуртского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук

ABOUT THE AUTHORS:

Nelyubina Zhanna Sergeevna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher of the Federal State Budgetary Institution of Science "Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences"

Kasatkina Nadezhda Ivanovna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher of the Federal State Budgetary Institution of Science "Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences"