



УДК 581.1

<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.42.41>

Геоэкологическая оценка особенностей фиторемедиации при использовании *Fallopia sachalinensis* в условиях антропогенного загрязнения тяжелыми металлами почв Башкирского Зауралья

Е. Н. Елизарьева, А. А. Фахертдинова*

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

А. Н. Елизарьев

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, Россия
Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия

Д. А. Тараканов

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, Россия

Н. В. Кудашкина

Башкирский государственный медицинский университет, г. Уфа, Россия

Аннотация. Разрабатывается алгоритм геоэкологической оценки особенностей фиторемедиации при использовании растений с учетом условий антропогенного загрязнения почв тяжелыми металлами, а также физиологических особенностей и видоспецифичных реакций в условиях абиотического и биотического стресса. Для количественного определения флавоноидов в *Fallopia sachalinensis* использовался спектрофотометрический метод на приборе Shimadzu UV-1800 с применением комплексобразующей добавки – 5%-ного раствора алюминия хлорида, для определения содержания дубильных веществ применялся метод окислительно-восстановительного титрования, с целью обнаружения аминокислот проводились качественные реакции с водным извлечением для трех экземпляров каждой пробы. Количественное определение аминокислот в исследуемых образцах осуществлялось на аминокислотном анализаторе ААА-339 (Чехия). Апробация алгоритма на *Fallopia sachalinensis* в условиях антропогенного загрязнения тяжелыми металлами почв Башкирского Зауралья показала, что растение обладает индикаторным потенциалом, но исключает получение природных биологически активных веществ из биомассы, при этом *Fallopia Sachalinensis* устойчива к загрязнению почвы тяжелыми металлами и имеет повышенную устойчивость в условиях промышленного загрязнения. Также была определена возможность использования растения в качестве индикатора загрязнения почвы.

Ключевые слова: *Fallopia sachalinensis*, геоэкологическая оценка, аминокислотный состав, дубильные вещества, тяжелые металлы, фиторемедиация, флавоноиды.

Для цитирования: Геоэкологическая оценка особенностей фиторемедиации при использовании *Fallopia sachalinensis* в условиях антропогенного загрязнения тяжелыми металлами почв Башкирского Зауралья / Е. Н. Елизарьева, А. А. Фахертдинова, А. Н. Елизарьев, Д. А. Тараканов, Н. В. Кудашкина // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2022. Т. 42. С. 41–57. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.42.41>

Geocological Assessment of Phytoremediation Features When Using *Fallopia Sachalinensis* in Conditions of Anthropogenic Heavy Metal Pollution of Soils of the Bashkir Trans-Urals

E. N. Elizareva, A. A. Fakhertdinova*

Bashkir State University, Ufa, Russian Federation

A. N. Elizaryev

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation

Institute of Water Problems RAS, Moscow, Russian Federation

D. A. Tarakanov

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation

N. V. Kudashkina

Bashkir State Medical University, Ufa, Russian Federation

Abstract. The relevance of this work is related to solving the problem of soil pollution with heavy metals by applying *Fallopia Sachalinensis* and obtaining benefits in the recovery process. The aim of the work is to develop an algorithm for geocological assessment of phytoremediation features when using plants, taking into account the conditions of anthropogenic soil pollution with heavy metals, as well as physiological characteristics and species-specific reactions under abiotic and biotic stress. For the quantitative determination of flavonoids in *Fallopia Sachalinensis*, a spectrophotometric method was used in the work on a Shimadzu – UV 1800 instrument using a complexing additive – 5% aluminum chloride solution, to determine the content of tannins, the redox titration method was used, in order to detect amino acids, qualitative reactions were carried out with aqueous extraction for three copies of each sample. Quantitative determination of amino acids in the studied samples is carried out on the AAA-339 amino acid analyzer (Czechoslovakia). Approbation of the algorithm on *Fallopia Sachalinensis* under conditions of anthropogenic contamination of soils of the Bashkir Trans-Urals with heavy metals showed that the plant has an indicator potential, but excludes the production of natural biologically active substances from biomass. At the same time, *Fallopia Sachalinensis* is resistant to soil pollution with heavy metals and has an increased resistance to industrial pollution, and the possibility of using it as an indicator of soil pollution has also been determined.

Keywords: *Fallopia Sachalinensis*, geocological assessment, amino acid composition, tannins, heavy metals, phytoremediation, flavonoids.

For citation: Elizareva E.N., Fakhertdinova A.A., Elizaryev A.N., Tarakanov D.A., Kudashkina N.V. Geocological Assessment of Phytoremediation Features When Using *Fallopia Sachalinensis* in Conditions of Anthropogenic Heavy Metal Pollution of Soils of the Bashkir Trans-Urals. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2022, vol. 42, pp. 41-57. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.42.41> (in Russian)

Введение

На сегодняшний день глобальной экологической проблемой является возрастающее техногенное и антропогенное загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами, которые не подвержены биологическому разложению, обладают высокой токсичностью и стойкостью [Microbial monitoring of ... , 2012].

Загрязнение почвы тяжелыми металлами оказывает пагубное воздействие: приводит к замедлению роста биомассы, ухудшению урожайности зерна и снижению качества урожая, а также увеличению риска для здоровья

человека при попадании в пищевую цепочку [Cadmium stress ... , 2016; Shaheen, Rinklebe, 2015; The effect of ... , 2015; Effect of different ... , 2016].

Основными антропогенными источниками загрязнения почвы тяжелыми металлами являются предприятия по добыче полезных ископаемых, металлообработке, производства, использующие сжигание ископаемого топлива. В процессе добычи сырья, при транспортировке, производстве и хранении значительная часть загрязнителей теряется и бесконтрольно распространяется [Дабахов, Дабахова, Титова, 2005]. Десятки квадратных километров почвы подвергаются загрязнению вблизи деятельности объектов металлургической промышленности [Кутлиахметов, Дьяконов, 2016].

Для рекультивации загрязненных почв используются различные инженерные методы: секвестрирование, разбавление, землевание, хемокстракция, электрокинетическая ремедиация [Sinhala, Srivastava, 2015; Галиулин, Галиулина, 2008; Paz-Alberto, Sigua, 2013]. Однако физико-химические методы восстановления почв, как правило, дороги и часто приводят к ухудшению почвенной экосистемы. Поэтому в последние годы активное развитие получили экологически чистые биологические технологии для экономичного восстановления этих почв [Assessment of the ... , 2006; Microbial monitoring of ... , 2012; Accumulating capacity ... , 2019].

Перспективным направлением биологической очистки почв является фиторемедиация – использование зеленых растений для восстановления загрязненной окружающей среды. Растения способны извлекать из почвы и концентрировать в себе различные элементы, в том числе тяжелые металлы – мышьяк, кадмий, медь, ртуть, селен, свинец [Effect of Heavy ... , 2015]. Различают две основные стратегии фиторемедиации: фитоэкстракция (использование растений для извлечения металлов) и фитостабилизация (использование растений для снижения биодоступности металлов). Эффективность фиторемедиации во многом определяет выбор растения для восстановления загрязненной территории, который зависит от типа загрязнителя, свойств почвы, характеристик загрязненного участка, уровня загрязнения и стратегии фиторемедиации. В связи с чем целью данного исследования является разработка алгоритма геоэкологической оценки особенностей фиторемедиации при применении *Fallopia sachalinensis* с учетом условий антропогенного загрязнения тяжелыми металлами почв Башкирского Зауралья.

На первом этапе отбора растений-фиторемедиантов оценивается их устойчивость к стрессу, обусловленному повышенным содержанием тяжелых металлов в почве. Этому критерию удовлетворяют представители рода *Fallopia* (*Fallopia japonica*, *Fallopia sachalinensis* и *Fallopia × bohemica*) – одни из самых инвазивных видов как в Европе, так и в Северной Америке [Invasive plant Reynoutria ... , 2021]. Виды из рода *Fallopia* обладают интенсивным корневищным ростом и мощной способностью к вегетативной регенерации из стеблей и корневищ. У растения развиты механизмы адаптации к неблагоприятным условиям, поэтому оно способно выдерживать засуху, жару, холод, сернистую почву, заглупление и даже соляные брызги морских озер. Предста-

вители вида уже широко распространены в Европе, и изменение климата, вероятно, будет способствовать большему распространению, поскольку данный вид предпочитает более теплые и влажные условия летом.

Например, *Fallopia sachalinensis* (другие варианты названий: *Japanese knotweed*, *Giant knotweed*, *Reynoutria sachalinensis*) – это вид прибрежной растительности, который в искусственных средах обитания распространен также вдоль рек, дорог или автомагистралей, свалок, отвалов и вдоль железнодорожных путей. Как правило, рост возможен в различных типах почв с различными диапазонами pH и содержанием питательных веществ и в местообитаниях с разными режимами нарушения.

Все изученные представители рода *Fallopia* демонстрируют высокий уровень устойчивости и способности к росту в загрязненных почвах. Кроме того, ряд исследований подтверждает, что они обладают большой способностью накапливать тяжелые металлы в корнях в концентрациях выше порога токсичности для растений, что позволяет рассматривать их в качестве фиторемедиаторов [Katerina, Soltysiak, Marek, 2014].

Представители рода *Fallopia* отличаются относительно высокой концентрацией биологически активных веществ. В листьях спорыша гигантского содержатся вещества с фунгицидным действием. В корневищах и в надземной части присутствуют эмодин, физион и гликозиды производных 9,10-антрахинона; эти соединения обладают аллелопатическими свойствами [Vrchotová, Šerá, Tříška, 2007]. Физион, в частности, является основным биологически активным ингредиентом в традиционной китайской медицине и проявляет множество фармакологических свойств, включая слабительное, гепатопротекторное, противовоспалительное, антимикробное и антипролиферативное действие [Physson, a naturally ... , 2016].

Все разновидности рода *Fallopia* являются источниками ресвератрола – природного биологически активного вещества полифенольной природы, производного стильбена, обладающего широким спектром фармакологических характеристик, антиоксидантными, противовоспалительными, антимикробными и противогрибковыми свойствами. Кроме того, на сегодняшний день отсутствует информация о токсичности данного соединения. По количеству ресвератрола молодые побеги *Fallopia sachalinensis* могут быть лучшим пищевым источником этих стильбенов, чем фрукты или овощи [Vrchotová, Šerá, Tříška, 2007].

Таким образом, использование листьев в качестве потенциальных пищевых добавок представляется более целесообразным из-за высокого содержания полифенольных соединений и тритерпеноидов. В свою очередь, корни с высоким содержанием стильбенов и полифенольных соединений являются хорошим сырьем для медицинской, фармацевтической и косметической промышленности.

В материалах научного семинара по комплексной оценке риска отдельных инвазивных чужеродных видов приведены следующие преимущества фиторемедиации при применении *Fallopia sachalinensis*: использование в декоративных целях, в качестве источника ресвератрола для медоносных пчел,

топлива из биомассы и возможного восстановления почвы [Organisation and running ... , 2014].

Так, в работе [New energy crop ... , 2021] проведена оценка *Fallopia sachalinensis* как возможного источника биомассы для производства биотоплива по следующим данным: урожайность, энергосодержание, физические и химические свойства. Полученные результаты показывают, что *Fallopia sachalinensis* является приемлемой альтернативой энергетическим культурам в климатических и почвенных условиях Северной Европы.

Несмотря на вышеперечисленные достоинства представителей рода *Fallopia*, в том числе высокую способность накапливать тяжелые металлы, есть мнение, что их высокая инвазивность исключает эти виды из семейства полезных и безопасных фиторемедиаторов [Katerina, Soltysiak, Marek, 2014]. Однако, согласно данным [Organisation and running ... , 2014], меньшую угрозу по этому критерию представляет тип *Fallopia sachalinensis* (ниже регенерация, рост, общий инвазивный потенциал, распространение) в сравнении с *F. japonica* или гибридом *F. bohemica*. Кроме того, активно ведутся исследования методов контроля распространения *Fallopia sachalinensis*. Наибольшую эффективность показывает сочетание механических и химических методов.

Таким образом, для использования растений с учетом преимуществ в стратегиях фиторемедиации необходимо учитывать физиологические особенности и их видоспецифичные реакции в условиях абиотического и биотического стресса. В связи с чем необходим алгоритм геоэкологической оценки особенностей фиторемедиации при использовании растений с учетом условий антропогенного загрязнения почв тяжелыми металлами, а также физиологических особенностей и видоспецифичных реакций в условиях абиотического и биотического стресса.

На основе экспериментальных исследований [Беликов, Колесник, 1983; Немерешина, Гусев, 2004; Vrchotová, Šerá, Třiska, 2007; Кайгородов, 2010; Великанова, Сливкин, Гапонов, 2013; Каркусова, Хозиев, 2013; Казаков, 2013; Organisation and running ... , 2014; Katerina, Soltysiak, Marek, 2014; Effect of Heavy ... , 2015; Effect of cadmium ... , 2016; Phycion, a naturally ... , 2016; Cirlig, Teleuța, 2016; Определение фиторемедиационного потенциала ... , 2017; Changes in the ... , 2018; Spread of landfill ... , 2020; Казанцева, 2020; Combining phytoremediation technologies ... , 2020; New energy crop ... , 2021; Invasive plant Reynoutria ... , 2021] предложен такой алгоритм.

Материалы и методы

Разработан алгоритм по геоэкологической оценке особенностей фиторемедиации при использовании растений в условиях антропогенного загрязнения тяжелыми металлами, включающий четыре этапа (рис. 1).

1. На первом этапе осуществляется количественная оценка флавоноидов. В условиях промышленного загрязнения может наблюдаться повышение концентрации флавоноидов, понижение или индифферентность.

2. Следующим этапом является определение содержания дубильных веществ при росте в условиях биотического или абиотического стресса.



Рис. 1. Апробация предложенного алгоритма геоэкологической оценки особенностей фиторемедиации на примере *Fallopia sachalinensis*

3. Третий этап – определение стресс-индуцированных аминокислот, которые играют существенную роль в повышении устойчивости растений при воздействии водного и температурного стресса, недостатка кислорода, избытка солей и тяжелых металлов.

4. На заключительном этапе необходимо выявить распределение и содержание тяжелых металлов в растениях.

По результатам оценки биологически активных веществ, а также учитывая особенности накопления тяжелых металлов, необходимо определить наиболее подходящую и выгодную стратегию фиторемедиации с дальнейшим получением экологических, экономических или социальных преимуществ. Данный алгоритм апробирован на *Fallopia sachalinensis*, произрастающей на почвах Башкирского Зауралья.

Получение максимальных преимуществ возможно при максимальной биомассе растения, поэтому анализ содержания биологически активных веществ в данной работе проводился в фазе плодоношения растения. Объектами исследования явились листья и стебли *Fallopia sachalinensis*, культивируемой на коллекционном участке кафедры фармакогнозии с курсом ботаники и основ фитотерапии и содержащей в своем составе следующие тяжелые металлы, мг/кг: Fe – 22 484, Zn – 30, Cu – 24; Mn – 590; Cd – 0,10, а также листья и стебли, интродуцированные на почву, загрязненной хвостами Учалинской обогатительной фабрики, попавшими в почву в количестве 300 г/м² и содержащими в

своем составе следующие тяжелые металлы, %: Cu – 0,30; Zn – 0,61; Cd – 0,0028; Pb – 0,11; Mn – 0,04; Co и Ni – 0,006; Cr – 0,008; Fe – 27,50 [Определение фиторемедиационного потенциала ... , 2017; Казаков, 2013].

Исследования проводились с высушенным материалом. Сырье упаковывалось и хранилось в соответствии с требованиями нормативной документации: при комнатной температуре, в сухом, хорошо вентилируемом помещении, не зараженном амбарными вредителями, без прямого попадания солнечных лучей.

Количественное определение флавоноидов в листьях и стеблях Fallopia sachalinensis

Флавоноиды могут реагировать на отдельные компоненты химических загрязнений, что позволяет использовать их в качестве индикатора загрязнения окружающей среды [Кайгородов, 2010]. Повышение концентрации флавоноидов в растении может говорить о том, что растение усиливает толерантность к неблагоприятным условиям среды, появляется возможность использовать его в качестве источника природных биологически активных веществ, обладающих широким спектром фармакологических свойств [Немерешина, Гусев, 2004].

Количественное определение флавоноидов изучаемых объектов проводится спектрофотометрическим методом на приборе Shimadzu UV-1800 с использованием комплексообразующей добавки – 5%-ного раствора алюминия хлорида [Беликов, Колесник, 1983].

Содержание суммы флавоноидов в пересчете на рутин и абсолютно сухое сырье в процентах (X) вычисляется по формуле

$$X = \frac{D \cdot C_0 \cdot 10^6}{D_0 \cdot 100 \cdot m \cdot (100 - W)}, \quad (1)$$

где D – оптическая плотность испытуемого раствора; D_0 – оптическая плотность раствора ГСО рутин; m – масса сырья, г; C_0 – масса ГСО рутин, г; W – потеря в массе при высушивании сырья, %.

Количественное определение дубильных веществ в листьях и стеблях Fallopia sachalinensis

Повышение в содержании дубильных веществ может говорить о наличии у растений ответных механизмов устойчивости к внешним неблагоприятным условиям [Кайгородов, 2010]. Определение количественного содержания дубильных веществ проводится методом окислительно-восстановительного титрования [Общие методы ... , 1987; Общие методы анализа, 1990].

Содержание суммы дубильных веществ в процентах (X) вычисляется по формуле

$$X = \frac{(V - V_1) \cdot 0,004157 \cdot 250 \cdot 100 \cdot 100}{m \cdot 25 \cdot (100 - W)}, \quad (2)$$

где V – объем раствора перманганата калия (0,02 моль/л), израсходованного на титрование извлечения, мл; V_1 – объем раствора перманганата калия (0,02 моль/л), израсходованного на титрование в контрольном опыте, мл;

0,004157 – количество дубильных веществ, соответствующее 1 мл раствора перманганата калия (0,02 моль/л) (в пересчете на танин), г; m – масса сырья, г; W – потеря в массе при высушивании сырья, %; 250 – общий объем извлечения, мл; 25 – объем извлечения, взятого для титрования, мл.

Определение аминокислотного и элементного состава в листьях и стеблях Fallopia sachalinensis

Стресс-индуцированными аминокислотами в растениях являются аланин, γ -аминомасляная кислота, пролин и цистеин [Кайгородов, 2010]. При воздействии неблагоприятных факторов содержание данных аминокислот может расти или снижаться. С целью обнаружения аминокислот проводятся качественные реакции с водным извлечением для трех экземпляров каждой пробы. Количественное определение аминокислот в исследуемых образцах выполняется на аминокислотном анализаторе ААА-339 (Чехия).

Качественная и количественная оценка макро- и микроэлементов образцов *Fallopia sachalinensis* осуществляется методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием спектрофотометра, соединенного с компьютером фирмы Pacific Scientific (модель 6250). Числовые показатели макро- и микроэлементов в сырье определяются в аналитических пробах, изготовленных в лабораторных условиях, при этом измерения выполняются в трехкратной повторности.

Растения способны накапливать металлы в корнях и корневищах и ограничивать перенос металлов в надземные части (металлоисключители) или могут накапливать тяжелые металлы в надземных частях, особенно в листьях (аккумуляторы металлов). В этом случае растение можно использовать для озоления с последующей рекуперацией из него ценных металлов. Некоторые виды растений являются индикаторами тяжелых металлов и накапливают металлы в побегах в количестве, отражающем их содержание в почве [Katerina, Soltysiak, Marek, 2014].

Статистическая обработка результатов исследования

Статистическая обработка экспериментальных данных ($P = 95\%$) фитохимических исследований проводится в соответствии со стандартными требованиями к статистической обработке результатов химического эксперимента и биологических испытаний. В работе рассчитываются среднее квадратичное отклонение и стандартное отклонение среднего результата с использованием критерия Стьюдента. Статистическая обработка полученных результатов выполняется с помощью программ статистической обработки данных Statistica MS Excel.

Результаты и обсуждение

Количественное определение флавоноидов в листьях и стеблях Fallopia sachalinensis

Результаты количественной оценки флавоноидов в перерасчете на рутин представлены в табл. 1, анализ которой показал, что в *Fallopia sachalinensis* флавоноиды преимущественно накапливаются в листьях – на незагрязненной

территории содержание флавоноидов в листьях больше в 2,03 раза, чем в стеблях. Подобная ситуация наблюдается и в образцах, выращенных на загрязненной территории, – количество флавоноидов в листьях больше в 1,34 раза содержания в стеблях. Установлено, что присутствие в почве тяжелых металлов угнетает синтез флавоноидов – сокращение в листьях составляет в 4,90 раза, в стеблях – в 3,20.

Таблица 1

Показатели содержания флавоноидов в образцах *Fallopia sachalinensis*

Исследуемый объект	X, %	ε, %
Образцы с незагрязненных почв		
Листья	0,56	±2,33
Стебли	0,28	±4,05
Образцы с загрязненных почв		
Листья	0,11	±5,22
Стебли	0,09	±7,30

Снижение синтеза флавоноидов подтверждает тот факт, что тяжелые металлы играют роль ингибиторов фотосинтеза и препятствуют нормальному биосинтезу флавоноидов, а *Fallopia sachalinensis* может выступать в качестве индикатора антропогенного загрязнения почвы. Литературный обзор показал, что аналогичных исследований *Fallopia sachalinensis* не представлено, однако в работе [Великанова, Сливкин, Гапонов, 2013] рассматривается накопление флавоноидов еще одним представителем рода *Polygonum* – *aviculare* (аналогичным методом – спектрофотометрии, с перерасчетом на авикулярин). Результаты исследования свидетельствуют, что тяжелые металлы в горце птичьим ингибируют биосинтез флавоноидов. Таким образом, согласно предложенному алгоритму *Fallopia sachalinensis* обладает индикационной способностью, однако исключает получение природных биологически активных веществ из биомассы.

Количественное определение дубильных веществ в листьях и стеблях Fallopia sachalinensis

Результаты количественной оценки дубильных веществ представлены на рис. 2, из которого видно, что основное накопление происходит в листьях. При этом содержание дубильных веществ в *Fallopia sachalinensis*, выращенной в почве, загрязненной тяжелыми металлами, больше в 1,96 раз – в листьях и в 1,88 раз – в стеблях, чем в образцах с незагрязненной территории. По-видимому, повышение содержания дубильных веществ обусловливается неферментативной антиокислительной защитой в *Fallopia sachalinensis*, которая осуществляется путем стимулирования выработки дубильных веществ.

Анализ литературных данных показал, что в большинстве случаев отмечается именно накопление дубильных веществ при воздействии тяжелых металлов [Changes in the ... , 2018; Effect of cadmium ... , 2016; Казанцева, 2020]. Авторы объясняют полученные выводы тем, что дубильные вещества выполняют функцию эндогенных антиоксидантов, ограничивающих повреждающее

действие активных форм кислорода и свободных радикалов, которые образуются при стрессе [Кайгородов, 2010]. Согласно алгоритму оценка *Fallopia sachalinensis* на устойчивость к загрязнению почвы тяжелыми металлами продемонстрировала положительный результат.

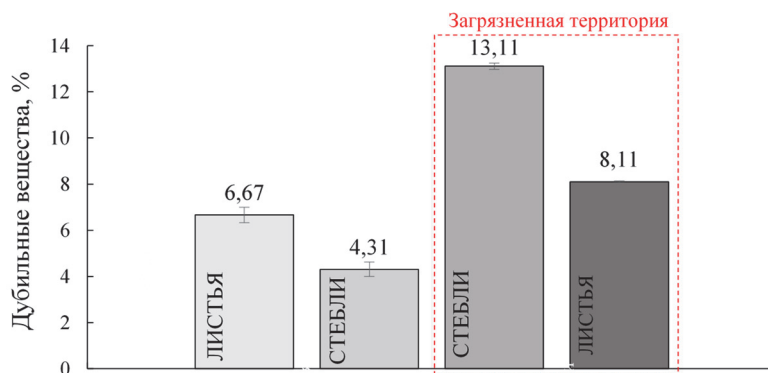


Рис. 2. Содержание дубильных веществ в образцах *Fallopia sachalinensis*

Определение аминокислотного и элементного составов в листьях и стеблях *Fallopia sachalinensis*

Результаты количественного определения аминокислот в исследуемых образцах представлены в табл. 2. Установлено присутствие 14 аминокислот, из которых восемь являются незаменимыми для человека. При влиянии тяжелых металлов содержание валина в листьях увеличивается на 20, тирозина на 20, лейцина на 19 %. Метионин в стеблях уменьшается на 16, фенилаланин на 19 %. Суммарное содержание 14 аминокислот в *Fallopia sachalinensis* при воздействии тяжелых металлов в листьях увеличивается на 6, а в стеблях снижается на 2,4 %. Наибольшее содержание имеет пролин, который представляет собой гетероциклическую аминокислоту и накапливается в условиях биотического и абиотического стрессового воздействия. Также пролин имеет ряд важных функций, среди которых повышение устойчивости к неблагоприятным факторам среды и устранение последствий стресса. Наибольшее накопление в данном случае, по-видимому, обуславливается реакцией на наличие в почве и действие Cu, Zn, Cd, Co, Ni, Cr, что подтверждается в работе [Кайгородов, 2010]. Таким образом, определено, что *Fallopia sachalinensis* имеет повышенную устойчивость в условиях промышленного загрязнения.

В целом представленный состав аминокислот согласуется с результатами других исследователей. Так, в работе [Cirlig, Teleuța, 2016] изучается аминокислотный состав в органах *Fallopia sachalinensis*. Авторы обнаружили 21 аминокислоту, семь из которых являются незаменимыми для человека. Наибольшее содержание в стеблях и листьях имеет лейцин, который повышает устойчивость растений в условиях засухи и помогает им в преодолении

солевого стресса. В работе [Каркусова, Хозиев, 2013] рассматривается аминокислотный состав *Fallopia sachalinensis* на разных стадиях вегетации растения. Авторы определили 16 аминокислот, семь из которых незаменимы. Наибольшее содержание имеет аспарагиновая кислота, которая активно участвует в азотном обмене и синтезе белка, а также является строительным материалом для других аминокислот.

Таблица 2

Показатели содержания аминокислот в образцах *Fallopia sachalinensis*

Аминокислоты	Числовые показатели аминокислот, %					
	Образцы с незагрязненных почв	Листья	Стебли	Образцы с загрязненных почв	Листья	Стебли
Лизин*		0,44	0,30		0,38	0,29
Пролин		2,37	2,65		2,32	2,67
Метионин*		0,40	0,16		0,38	0,19
Глицин		1,16	0,82		1,09	0,82
Цистеин		0,41	1,15		0,44	1,16
Валин*		1,16	0,31		0,97	0,32
Гистидин*		0,17	0,51		0,19	0,53
Изолейцин*		0,17	1,10		0,20	1,14
Аргинин		0,90	0,33		0,88	0,34
Треонин*		0,57	0,12		0,50	0,14
Тирозин		0,29	0,21		0,24	0,23
Серин		0,65	0,21		0,62	0,19
Фенилаланин*		0,62	0,13		0,63	0,16
Лейцин*		0,25	1,14		0,21	1,18
Сумма АМК		9,56	9,14		9,05	9,36

Примечание: * – незаменимые для человека аминокислоты.

Результаты определения макро- и микроэлементного состава исследуемых образцов *Fallopia sachalinensis* даны в табл. 3. Из макроэлементов определены калий и натрий. При этом накопление калия в стеблях больше в 3,3 раза, чем в листьях, на незагрязненной территории, и больше в 3,6 раза в образцах с загрязненной почвой. Обратная ситуация с натрием, который в большей степени скапливается в листьях. На незагрязненной территории количество натрия в листьях больше в 2,4 раза, чем в стеблях, аналогичная ситуация с загрязненной почвой. Содержание натрия в листьях больше в 2,2 раза относительно стеблей.

Таблица 3

Элементный состав образцов *Fallopia sachalinensis*

Наименование сырья	Количественное содержание элементов	
	Макроэлементы, %	
	Калий	Натрий
Образцы с незагрязненных почв		
Листья	0,30±0,11	0,38±0,15
Стебли	0,99±0,23	0,16±0,05
Образцы с загрязненных почв		
Листья	0,28±0,09	0,35±0,13
Стебли	1,02±0,27	0,16±0,06

	Микроэлементы, мг/кг*				
	Цинк**	Железо**	Медь**	Марганец**	Йод
Образцы с незагрязненных почв					
Листья	39,35±1,75	101,44±4,9	13,20±0,30	430,43±35,50	0,25±0,16
Стебли	33,11±1,31	178,92±7,35	8,13±0,23	78,16±8,39	0,09±0,02
Образцы с загрязненных почв					
Листья	39,51±1,64	100,36±5,6	13,37±0,36	433,83±37,40	0,23±0,14
Стебли	34,44±1,38	178,92±6,1	8,78±0,21	70,72±6,58	0,08±0,01

Примечание: * – сухой массы растения; ** – тяжелые металлы.

Состав микроэлементов включает в себя цинк, железо, медь, марганец и йод. При этом накопление тяжелых металлов наблюдается в основном не в стеблях, а в листьях как на незагрязненной, так и на загрязненной территории. Обратная ситуация наблюдается только с накоплением железа. В целом суммарные содержания микроэлементов в образцах *Fallopia sachalinensis* с незагрязненной и загрязненной территориями сопоставимы, что говорит о возможности использования растения в роли индикатора тяжелых металлов. Подобные результаты приводятся в работе [Katerina, Soltysiak, Marek, 2014], в которой оценивается способность рода *Fallopia* поглощать тяжелые металлы. Исследователи отмечали различие в средних концентрациях металлов в надземных и подземных частях растений. Так, средняя концентрация металлов в подземных частях растений рода *Fallopia* выше в 10 раз относительно концентрации металлов в почве и в 2 раза выше по сравнению с содержанием в листьях растений. Также авторы отмечают, что некоторые виды растений рода *Fallopia* являются индикаторами тяжелых металлов. Кайгородов [2010] подтверждает данные выводы. Автор говорит о способности корней некоторых растений задерживать тяжелые металлы. Корни ограничивают дальнейший транспорт тяжелых металлов в надземные органы и могут накапливать их в концентрациях, в 10–15 раз превышающих концентрации в побегах растений. С использованием предложенного алгоритма определено, что *Fallopia sachalinensis* проявляет индифферентность к тяжелым металлам, что обуславливает возможность использовать его в качестве индикатора загрязнения почвы.

Закключение

Предложенный алгоритм позволяет определить особенности фиторемедиации при использовании растений с учетом условий антропогенного загрязнения почв тяжелыми металлами. Апробация алгоритма (см. рис. 1) на *Fallopia sachalinensis* в условиях антропогенного загрязнения тяжелыми металлами почв Башкирского Зауралья показала, что растение обладает индикационным потенциалом, но исключает получение природных биологически активных веществ из биомассы. При этом *Fallopia sachalinensis* устойчива к загрязнению почвы тяжелыми металлами и имеет повышенную устойчивость в условиях промышленного загрязнения, также определена возможность использования растения в качестве индикатора загрязнения почвы.

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- Беликов В. В., Колесник Н. Т.* Способ количественного определения флавоноидов в растительном сырье // Наука и просвещение. 1983. № 3160005. С. 25–28.
- Великанова Н. А., Сливкин А. И., Гапонов С. П.* Изучение накопления флавоноидов травой горца птичьего, собранного в разных с экологической точки зрения районах города Воронежа и его окрестностей // Вестник ВГУ, Серия: Химия. Биология. Фармация. 2013. № 1. С. 181–185.
- Галиулин В., Галиулина Р. А.* Очистка почв от тяжелых металлов с помощью растений // ВРАН. 2008. Т. 78, № 3. С. 247–249.
- Дабахов М. В., Дабахова Е. В., Титова В. И.* Тяжелые металлы: экотоксикология и проблемы нормирования. Нижний Новгород : ВВАГС, 2005. 165 с.
- Казаков П. В.* К выбору рационального способа переработки техногенного золотосодержащего сырья // Геологический сборник. 2013. № 10. С. 257–262.
- Казанцева В. В.* Особенности образования фенольных соединений в растениях гречихи (*Fagopyrum Esculentum*) в норме и в условиях стресса : дис. ... канд. биол. наук. М. : Ин-т физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН, 2020. С. 179.
- Кайгородов Р. В.* Устойчивость растений к химическому загрязнению. Пермь : Перм. гос. ун-т, 2010. 151 с.
- Каркусова Н. Н., Хозиев А. М.* Аминокислотный состав горца сахалинского на разных стадиях вегетации растения // Горский государственный аграрный университет. 2013. Т. 50, № 4. С. 276–278.
- Кутляхметов А. Н., Дьяконов В. В.* Техногенно-минеральные образования Башкирского Зауралья и их экологическая роль // Вестник РУДН. 2016. № 3. С. 19–24.
- Немерешина О. Н., Гусев Н. Ф.* Влияние техногенного загрязнения на содержание флавоноидов в растениях семейства норичниковых степного Предуралья // Вестник Оренбургского государственного университета. 2004. С. 123–126.
- Общие методы анализа. Государственная фармакопея СССР. 11-е изд. М. : Медицина, 1990. Вып. 2. 400 с.
- Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье. Государственная фармакопея СССР. 11-е изд. М. : Медицина, 1987. Вып. 1. 333 с.
- Определение фиторемедиационного потенциала сельскохозяйственных культур на антропогенно-загрязненных почвах / Е. Н. Елизарьева, Ю. А. Янбаев, Н. Н. Редькина, А.Г. Байков // Вестник БГАУ. С. 24–29.
- Accumulating capacity of different varieties of rapeseed under conditions of anthropogenic pollution of soils by heavy metals / E. Elizareva, Y. Yanbaev, N. Redkina, N. Kudashkina, A. Elizaryev, I. Khamidullin // IOP conference series: earth and environmental science. 2019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012182>
- Assessment of the efficiency of a metal phytoextraction process with biological indicators of soil health / J. Hernandez-Allica, J. M. Becerril, O. Zarate, C. Garbisu // Plant Soil. 2006. P. 147–158. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-4081-7>
- Cadmium stress in rice: toxic effects, tolerance mechanisms, and management: a critical review / Rizwan, Ali S., Adrees M., Rizvi H., Zia-ur-Rehman M., Hannan F., Qayyum M. F., Hafeez F., and Ok Y. S. // Environmental Science and Pollution Research. 2016. Vol. 23, N 18. P. 17859-17879. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6436-4>
- Changes in the phenylalanine ammonia lyase activity, total phenolic compounds, and flavonoids in *Prosopis glandulosa* treated with cadmium and copper / D. González-Mendoza, R. Troncoso-Roja, T. González-Soto, O. Grimaldo-Juárez, C. Cecaña-Duran, D. Durán-Hernández, F. Gutiérrez-Miceli // Anais da Academia Brasileira de Ciências. 2018. P. 1465–1472.
- Cirlig N., Teleuța A.* Amino acids in *polygonum sachalinense* f.schmidt // Revista Botanică. 2016. P. 72–75.
- Combining phytoremediation technologies of soil cleanup and biofuel production / E. Elizareva, Y. Yanbaev, N. Redkina, N. Kudashkina, A. Elizaryev // Advances in intelligent systems and computing. 2020. P. 257–266. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19756-8_23

Effect of cadmium on phenolic compounds, antioxidant enzyme activity and oxidative stress in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) plantlets grown in vitro / K. Manquían-Cerda, M. Escudey, G. Zúñiga, N. Arancibia-Miranda, M. Molina, E. Cruces // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2016. P. 316–326.

Effect of different amendments on rice (*Oryza sativa* L.) growth, yield, nutrient uptake and grain quality in Ni-contaminated soil / P. M. Ramzani, W.-D. Khan, M. Iqbal, S. Kausar, S. Ali, M. Rizwan, Z. A. Virk // *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7038-x>

Effect of Heavy Metals in Plants of the Genus Brassica / M. P. Mourato, I. N. Moreira, I. Leitão, F. R. Pinto, J. R. Sales, L. L. Martins // *International Journal of Molecular Sciences*. 2015. P. 17975–17998.

Invasive plant *Reynoutria japonica* produces large amounts of phenolic compounds and reduces the biomass but not activity of soil microbial communities / A. Stefanowicz, P. Kapusta, S. Małgorzata, M. Fraç, K. Oszust, M. Woch, S. Zubek // *Science of The Total Environment*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145439>

Katerina B., Soltysiak J., Marek V. Role of different taxa and cytotypes in heavy metals absorption in knotweeds (*Fallopia*) // *Scientia Agriculturae Bohemica*. 2014. P. 11–18. <https://doi.org/10.7160/sab.2014.450102>

Microbial monitoring of the recovery of soil quality during heavy metal phytoremediation / M. T. Gomez-Sagasti, I. Alkorta, J. M. Becerril, L. Epelde, M. Anza, C. Garbisu // *Water Air Soil Pollut*. 2012. P. 3249–3262. <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1106-8>

New energy crop alternatives for Northern Europe. Yield, chemical and physical properties of Giant knotweed (*Fallopia sachalinensis* var. 'Igniscum') and Virginia mallow (*Sida hermaphrodita*) / P. Nikolaos, L. Antti, H. Antti, I. Risto, K. Suvi, P. Ari, K. Marja, M. Blas // *The Science and Technology of Fuel and Energy*. 2021. Vol. 304, N 121349. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121349>

Organisation and running of a scientific workshop to complete selected invasive alien species (IAS) risk assessments / H. Roy, R. Scalera, O. Booy, E. Branquart, B. Gallardo, P. Genovesi, M. Josefsson, M. Kettunen, L. Merike, F. Lucy, A. Martinou, M. Niall, J. Pergl, W. Rabitsch, W. Solarz, T. Trichkova, J. V. Valkenburg, A. Zenetos, I. Bazos, G. Alexandros, R. Sheehan // *Natural Environment Research Council*. 2014. URL: <https://ec.europa.eu/environment/nature/invasivealien/docs/Workshop%20report.pdf> (date of access: 29.07.2022).

Paz-Alberto A. M., Sigua G. C. Phytoremediation: A Green Technology to Remove Environmental Pollutants // *American Journal of Climate Change*. 2013. N 2. P. 71–86.

Phycion, a naturally occurring anthraquinone derivative, induces apoptosis and autophagy in human nasopharyngeal carcinoma / Mj. Z. Pang [et al.] // *Acta Pharmacologica*. 2016. N 37. P. 1623–1640.

Sabina L., Jan O. M. Profile of Bioactive Compounds in the Morphological Parts of Wild *Fallopia japonica* (Houtt) and *Fallopia sachalinensis* (F. Schmidt) and Their Antioxidative Activity // *Molecules*. 2019. Vol. 24, N 7. P. 1436. <https://doi.org/10.3390/molecules24071436>

Shaheen S. M., Rinklebe J. Phytoextraction of potentially toxic elements by Indian mustard, rapeseed, and sunflower from a contaminated riparian soil // *Environmental Geochemistry and Health*. 2015. N 37. P. 953–967. <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9718-8>

Sinhal V.K., Srivastava A. Phytoremediation: A Technology to Remediate Soil Contaminated with Heavy Metals // *IJGHC*. 2015. Vol. 4, N 3. P. 439–460.

Spread of landfill leachate into groundwater / A. Longobardi, A. Elizaryev, E. Nasyrova, E. Elizaryeva, L. Kiyashko, K. Kabanov // *Theoretical and Applied Ecology*. 2020. P. 36–43. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-2-036-043>

The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops / M. Adrees, S. Ali, M. Rizwan, M. Ibrahim, F. Abbas, M. Farid, M. Zia-ur-Rehman, M. K. Irshad, S. A. Bhargwana // *Environmental Science and Pollution Research*. 2015. P. 8148–8162. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4496-5>

Vrchotová N., Šerá B., Tríska J. The stilbene and catechin content of the spring sprouts of *Reynoutria* species // *Acta Chromatographica*. 2007. N 19. P. 21–28.

References

Belikov V.V., Kolesnik N.T. Sposob kolichestvennogo opredeleniya flavonoidov v rastitelnom sire [Method for quantitative determination of flavonoids in plant raw materials]. *Nauka i prosveshcheniye* [Science and education], 1983, no. 3160005, pp. 25–28 (in Russian)

Velikanova N.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P. Izuchenie nakopleniya flavonoidov travoi gorca ptichego, sobrannogo v raznih s ekologicheskoi tochki zreniya raionah goroda Voronezha i ego okrestnostei [Study of the accumulation of flavonoids by the grass of a bird mountain collected in different from an ecological point of view areas of the city of Voronezh and its environs]. *Vestnik VGU, Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya* [Bulletin of VSU, Series: Chemistry. Biology. Pharmacy], 2013, no. 1, pp. 181-185. (in Russian)

Galiulin V., Galiulin R.A. Ochistka pochv ot tyazhelih metallov s pomosh'yu rastenii [Soil cleaning from heavy metals using plants]. *Vestnik RAN* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 2008, vol. 78, no. 3, pp. 247-249. (in Russian)

Dabakhov M.V., Dabakhova E.V., Titova V.I. *Tyazhelie metalli: ekotoksikologiya i problemi normirovaniya* [Heavy metals: ecotoxicology and rationing problems]. Nizhny Novgorod, VVAGS Publ., 2005, 165 p. (in Russian)

Kazakov P.V. K vboru racionalnogo sposoba pererabotki tehnogenno zolotosoderzhash'ego sirya [To select a rational method of processing technogenic gold-bearing raw materials]. *Geologicheskii sbornik* [Geological collection], 2013, no. 10, pp. 257-262. (in Russian)

Kazantseva V.V. *Osobennosti obrazovaniya fenolnykh soyedineniy v rastenyakh grechikki (Fagopyrum Esculentum) v norme i v usloviyakh stressa* [Features of the formation of phenolic compounds in buckwheat plants (*Fagopyrum Esculentum*) are normal and under stress]. Cand. sci. diss. abstr.. Moscow, 2020, 179 p. (in Russian)

Kaigorodov R.V. *Ustoichivost rastenii k himicheskomu zagryazneniyu* [Resistance of plants to chemical contamination]. Perm. Perm State University Publ., 2010, 151 p. (in Russian)

Karkusova N., Khoziev A. *Aminokislottii sostav gorca sahalinskogo na raznih stadiyakh vegetatsii rasteniya* [Amino acid composition of the Sakhalin mountain at different stages of plant vegetation] *Izvestiya Gorskogo GAU* [Izvestiya Gorsky State Agrarian University], 2013, vol. 50, no. 4, pp. 276-278 (in Russian)

Kutliakhmetov A.N., Dyakonov V.V. Tehnogenno-mineralnie obrazovaniya Bashkirskogo Zauralya i ih ekologicheskaya rol [Technogenic and mineral formations of the Bashkir Trans-Urals and their ecological role]. *Vestnik RUDN* [RUDN Bulletin], 2016, no. 3, pp. 19-24. (in Russian)

Nemereshina O.N., Gusev N.F. Vliyanie tehnogenno zagryazneniya na sodержanie flavonoidov v rastenyakh semeistva norichnikovih stepnogo Preduralya [Impact of Man-made Pollution on Flavonoid Content in Plants of the Norichnik Steppe Pre-Urals Family]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [OSU Bulletin], 2004, pp. 123-126. (in Russian)

Obshhie metody analiza. Gosudarstvennaya farmakopeya SSSR [General methods of analysis. USSR State Pharmacopoeia]. Medicine Publ., 1990, 400 p. (in Russian)

Obshhie metody analiza. Lekarstvennoe rastitelnoe syr'e [General methods of analysis. Medicinal plant materials]. Medicine Publ., 1987, 333 p. (in Russian)

Elizaryeva E.N., Yanbaev Yu.A., Redkina N.N., Baikov A.G. Opreделение fitoremediacionnogo potenciala selskohozyaistvennih kultur na antropogenno-zagryaznennih pochvah [Determination of phytoremediation potential of crops on anthropogenic-contaminated soils]. *Vestnik BGAU* [BSAU Bulletin], 2017, pp. 24-29. (in Russian)

Elizareva E., Yanbaev Y., Redkina N., Kudashkina N., Elizaryev A., Khamidullin I. Accumulating capacity of different varieties of rapeseed under conditions of anthropogenic pollution of soils by heavy metals. *IOP conference series: Earth and environmental science*, 2019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012182>

Hernandez-Allica J., Becerril J.M., Zarate O., Garbisu C. Assessment of the efficiency of a metal phytoextraction process with biological indicators of soil health. *Plant Soil*, 2006, pp. 147-158. <https://doi.org/10.1007/s1104-005-4081-7>

Rizwan M., Ali S., Adrees M., Rizvi H., Zia-ur-Rehman M., Hannan F., Qayyum M. F., Hafeez F., Ok Y. S. Cadmium stress in rice: toxic effects, tolerance mechanisms, and management: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, vol. 23, no. 18, pp. 17859-17879 <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6436-4>

González-Mendoza D., Troncoso-Roja R., González-Soto T., Grimaldo-Juárez O., Ceceña-Duran C., Durán-Hernández D., Gutiérrez-Miceli F. Changes in the phenylalanine ammonia lyase activity, total phenolic compounds, and flavonoids in *Prosopis glandulosa* treated with cadmium and copper. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 2018, pp. 1465-1472.

Cirlig N., Teleuța A. Amino acids in *polygonum sachalinense* f.schmidt. *Revista Botanică*, 2016, pp. 72-75.

- Elizareva E., Yanbaev Y., Redkina N., Kudashkina N., Elizaryev A. Combining phytoremediation technologies of soil cleanup and biofuel production. *Advances in intelligent systems and computing*, 2020, pp. 257-266. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19756-8_23
- Manquién-Cerda K., Escudey M., Zúñiga G., Arancibia-Miranda N., Molina M., Cruces E. Effect of cadmium on phenolic compounds, antioxidant enzyme activity and oxidative stress in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) plantlets grown in vitro. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2016, pp. 316-326.
- Ramzani P.M., Khan W.-D., Iqbal M., Kausar S., Ali S., Rizwan M., and Virk Z. A. Effect of different amendments on rice (*Oryza sativa* L.) growth, yield, nutrient uptake and grain quality in Ni-contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7038-x>
- Mourato M.P., Moreira I.N., Leitão I., Pinto F.R., Sales J.R., Martins L.L. Effect of Heavy Metals in Plants of the Genus Brassica. *International Journal of Molecular Sciences*, 2015, pp. 17975-17998.
- Stefanowicz A., Kapusta P., Małgorzata S., Fraç M., Oszust K., Woch M., Zubek S. Invasive plant *Reynoutria japonica* produces large amounts of phenolic compounds and reduces the biomass but not activity of soil microbial communities. *Science of the Total Environment*, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145439>
- Katerina B., Soltysiak J., Marek V. Role of different taxa and cytotypes in heavy metals absorption in knotweeds (*Fallopia*). *Scientia Agriculturae Bohemica*, 2014, pp. 11-18. <https://doi.org/10.7160/sab.2014.450102>.
- Gomez-Sagasti M.T., Alkorta I., Becerril J. M., Epelde L., Anza M., Garbisu C. Microbial monitoring of the recovery of soil quality during heavy metal phytoremediation. *Water Air Soil Pollut.*, 2012, pp. 3249-3262. <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1106-8>
- Nikolaos P., Antti L., Antti H., Risto I., Suvi K., Ari P., Marja K., Blas M. New energy crop alternatives for Northern Europe. Yield, chemical and physical properties of Giant knotweed (*Fallopia sachalinensis* var. 'Igniscum') and Virginia mallow (*Sida hermaphrodita*). *The Science and Technology of Fuel and Energy*, 2021, vol 304, no 121349. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121349>
- Roy H., Scalera R., Booy O., Branquart E., Gallardo B., Genovesi P., Josefsson M., Kettunen M., Merike L., Lucy F., Martinou A., Niall M., Pergl J., Rabitsch W., Solarz W., Trichkova T., Valkenburg J. V., Zenetos A., Bazos I., Alexandros G., Sheehan R. Organisation and running of a scientific workshop to complete selected invasive alien species (IAS) risk assessments. *Natural Environment Research Council*, 2014. Available at: <https://ec.europa.eu/environment/nature/invasivealien/docs/Workshop%20report.pdf> (date of access: 29.07.2022).
- Paz-Alberto A.M., Sigua G.C. Phytoremediation: A Green Technology to Remove Environmental Pollutants. *American Journal of Climate Change*, 2013, no. 2, pp. 71-86.
- Pang Mj. et al. Physcion, a naturally occurring anthraquinone derivative, induces apoptosis and autophagy in human nasopharyngeal carcinoma. *Acta Pharmacologica*, 2016, no. 37, pp. 1623-1640.
- Sabina L., Jan O.M. Profile of Bioactive Compounds in the Morphological Parts of Wild *Fallopia japonica* (Houtt) and *Fallopia sachalinensis* (F. Schmidt) and Their Antioxidative Activity. *Molecules*, 2019, vol. 24(7), pp. 1436. <https://doi.org/10.3390/molecules24071436>
- Shaheen S.M. and Rinklebe J. Phytoextraction of potentially toxic elements by Indian mustard, rapeseed, and sunflower from a contaminated riparian soil. *Environmental Geochemistry and Health*, 2015, no 37, pp. 953-967. <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9718-8>
- Sinhal V.K., Srivastava A. Phytoremediation: A Technology to Remediate Soil Contaminated with Heavy Metals. *IJGHC*, 2015. vol. 4, no. 3, pp. 439-460.
- Longobardi A., Elizaryev A., Nasyrova E., Elizaryeva E., Kiyashko L., Kabanov K. Spread of landfill leachate into groundwater. *Theoretical and Applied Ecology*, 2020, pp. 36-43. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-2-036-043>
- Adrees M., Ali S., Rizwan M., Ibrahim M., Abbas F., Farid M., Zia-ur-Rehman M., Irshad M. K., and Bharwana S. A. The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, pp. 8148-8162. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4496-5>
- Vrchotová N., Šerá B., Tříška J. The stilbene and catechin content of the spring sprouts of *Reynoutria* species. *Acta Chromatographica*, 2007, no. 19, pp. 21-28.

Сведения об авторах**Елизарьева Елена Николаевна**

кандидат технических наук
доцент кафедры экономико-правового
обеспечения безопасности
Башкирский государственный университет
Россия, 450076, г. Уфа, ул. З. Валиди, 32
e-mail: elizareva_en@mail.ru

Фахертдинова Алина Альбертовна

студент
Башкирский государственный университет
Россия, 450076, г. Уфа, ул. З. Валиди, 32
e-mail: fakhertdinova3015@mail.ru

Елизарьев Алексей Николаевич

кандидат географических наук
заведующий кафедрой «Безопасность
производства и промышленная экология»
Уфимский государственный авиационный
технический университет
450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12
научный сотрудник
Институт водных проблем РАН
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, 3
e-mail: elizariev@mail.ru

Тараканов Дмитрий Анатольевич

ассистент кафедры «Безопасность
производства и промышленная экология»
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Россия, 450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12
e-mail: tarakanovdim11@gmail.com

Кудашкина Наталья Владимировна

доктор фармацевтических наук, профессор
декан фармацевтического факультета,
заведующий кафедрой фармакогнозии с
курсом ботаники и основ фитотерапии
Башкирский государственный медицинский
университет
Россия, 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3
e-mail: phytoart@mail.ru

Information about the authors**Elizareva Elena Nikolaevna**

Candidate of Sciences (Technic)
Associate Professor of the Department of
Economic and Legal Security Organization
Bashkir State University
32, Z. Validi st., Ufa, 450076,
Russian Federation
e-mail: elizareva_en@mail.ru

Fakhertdinova Alina Albertovna

Student
Bashkir State University
32, Z. Validi st., Ufa, 450076,
Russian Federation
e-mail: fakhertdinova3015@mail.ru

Elizaryev Alexey Nikolaevich

Candidate of Science (Geography)
Head of the Department "Safety
of Production and Industrial Ecology"
Ufa State Aviation Technical University
12, K. Marx st., Ufa, 450008,
Russian Federation
Research Associate
Water Problems Institute RAS
3, Gubkina st., Moscow, 119333,
Russian Federation
e-mail: elizariev@mail.ru

Tarakanov Dmitrii Anatolievich

Assistant of the Department "Safety of
Production and Industrial Ecology"
Ufa State Aviation Technical University
12, K. Marx st., Ufa, 450008, Russian
Federation
e-mail: tarakanovdim11@gmail.com

Kudashkina Natalya Vladimirovna

Doctor of Sciences (Pharmacy), Professor
Dean of the Faculty of Pharmacy, Head of the
Department of Pharmacognosy with a course
in Botany and Fundamentals of Phytotherapy
Bashkir State Medical University
3, Lenin st., Ufa, 450008, Russian Federation,
e-mail: phytoart@mail.ru

Код научной специальности: 1.6.21

Статья поступила в редакцию 06.07.2022; одобрена после рецензирования 10.11.2022; принята к публикации 08.12.2022
The article was submitted July, 6, 2022; approved after reviewing November, 10, 2022; accepted for publication December, 8, 2022