

## ИНДИКАЦИЯ ФТОРИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ТЕРРИТОРИИ г. ПЕРМИ С ПОМОЩЬЮ *ACER NEGUNDO* L.

### Аннотация.

*Актуальность и цели.* Проблема загрязнения атмосферного воздуха в г. Перми стоит достаточно остро. Одними из загрязнителей атмосферного воздуха являются соединения фтора, обладающие фитотоксичностью. *Acer negundo* L. является устойчивым к загрязнению атмосферного воздуха инвазивным видом, имеющим широкое распространение на территории г. Перми. К настоящему времени исследования о возможности использования *Acer negundo* в экологическом мониторинге фторидного загрязнения практически отсутствуют. По этой причине целью исследований являлась оценка возможности использования *Acer negundo* в качестве фитоиндикатора загрязнения атмосферного воздуха соединениями фтора.

*Материалы и методы.* Исследования проведены на территориях, прилегающих к стационарным постам наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха. Объектом исследований являлся *Acer negundo*. Оценивали морфологические изменения листьев и рассчитывали коэффициент их флуктуирующей асимметрии. Определяли активность каталазы, содержание фотосинтетических пигментов и фторидов в листьях на протяжении вегетационного периода. Выявляли зависимость определяемых показателей от интенсивности загрязнения атмосферного воздуха соединениями фтора.

*Результаты.* На «городском фоновом» посту № 20 г. Перми, где часто фиксировались превышения ПДК по фториду водорода, *Acer negundo* интенсивно накапливал соединения фтора из атмосферного воздуха. В качестве индикаторов фторидного загрязнения может быть использовано содержание фотосинтетических пигментов в листьях *Acer negundo*, высокий коэффициент флуктуирующей асимметрии (КФА) листьев и сравнительно низкая активность каталазы в них.

*Выводы.* На территории г. Перми повсеместно распространен *Acer negundo*; данный вид может быть использован как удобный фитоиндикатор фторидного загрязнения на урбанизированных территориях.

**Ключевые слова:** биоэкологический мониторинг, фторидное загрязнение, *Acer negundo* L., флуктуирующая асимметрия, растительные пигменты, каталазная активность.

S. V. Likhachev, E. V. Pimenova, S. N. Zhakova

## FLUORID CONTAMINATION INDICATION IN ENVIRONMENTAL MONITORING OF THE TERRITORY OF PERM CITY USING *ACER NEGUNDO* L.

### Abstract.

*Background.* There is an acute problem of air pollution in Perm. In particular, phytotoxic fluoride compounds are one of the major pollutants. *Acer negundo* is

a soil-resistant invasive plant species widely spread in Perm. However, the literature on the possible use of *Acer negundo* in environmental monitoring of fluoride pollution is practically absent. The purpose of this paper is to assess the possibility of usage of *Acer negundo* as a phytoindicator of free air pollution.

**Materials and methods.** Our research was conducted in territories adjacent to stationary posts of free air pollution monitoring. The research focused on *Acer negundo*. We estimated morphological changes of the leaves and calculated their fluctuating asymmetry coefficient. We found catalase activity, determined the content of photosynthetic pigments and fluorides in leaves throughout the vegetative period. Our findings reveal the dependence of the measures defined above from the free air pollution.

**Results.** *Acer negundo* accumulates fluoride compounds in its leaves as indicated by the background monitoring station 20 in Perm. The amount of photosynthetic pigments in the leaves, the high fluctuating asymmetry coefficient and a rather low catalase activity can all be used as fluoride pollution indicators.

**Conclusions.** *Acer negundo* is widespread in Perm and can thus be used as a convenient phytoindicator of fluoride pollution in the urbanized territories.

**Keywords:** bioenvironmental monitoring, fluoride pollution, *Acer negundo* L., the fluctuating asymmetry, vegetable pigments, activity of a catalase.

Оценка состояния окружающей среды наиболее эффективно проводится сочетанием химических, физических и биологических методов мониторинга. Биологические объекты обладают высокой чувствительностью к воздействию загрязняющих веществ [1], что позволяет оценить достоверность получаемых другими методами данных о загрязнении воздуха [2, 3]. Использование растений как биотесторов называется фитоиндикацией.

При экологическом мониторинге урбанизированных территорий чаще всего оценивают морфологические, физиологические и биохимические изменения в растениях [3, 4]. Для целей экологического мониторинга можно использовать свойство растений к концентрированию загрязняющих веществ [3, 5, 6], например фторидов [7]. Из физиологических показателей чаще оценивают интенсивность фотосинтеза и дыхания. Среди биохимических показателей исследуется активность ферментов (каталазы, пероксидазы, инвертазы) [2, 4, 8], количество и соотношение пигментов, таких как хлорофиллы *a* и *b*, каротиноиды [2, 4, 8].

По результатам исследований, проведенных разными авторами, *Acer negundo* рекомендуется использовать в биомониторинге загрязнения почв [9] и атмосферного воздуха [10, 11] тяжелыми металлами. Кроме этого, в биомониторинге рекомендуется использовать показатель флуктуирующей асимметрии листьев [9], морфометрические показатели побегов [12] и активность ферментов [11] в листьях, в частности каталазы [13, 14].

Проблема загрязнения атмосферного воздуха в г. Перми стоит достаточно остро [1, 4, 15]. Одними из загрязнителей атмосферного воздуха, по которым часто наблюдаются превышения предельно допустимых концентраций (ПДК), являются соединения фтора. Как известно, фториды в большой степени обладают свойством фитотоксичности [6, 7].

Целью исследований являлась оценка возможности использования *Acer negundo* L. в экологическом мониторинге фторидного загрязнения атмосферного воздуха в г. Перми.

### Материалы и методы

Исследования проведены в 2015 г. на территориях, прилегающих к постам наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха (ПНЗ) № 14 («промышленный»), № 16 и 20 («городские фоновые»).

Объектом исследований являлся клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), поскольку этот вид распространен вблизи мониторинговых постов наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха на территории г. Перми.

Оценивали морфологические изменения листьев – хлорозы, некрозы, продырявливание, рассчитывали коэффициент флуктуирующей асимметрии листьев [16]. Активность каталазы в листьях определяли по методу А. Ш. Галстяна [16], содержание фотосинтетических пигментов – по методике К. И. Степанова [17] с использованием формул Винтерманса и Де Мотса, содержание фторидов в растениях – ионометрическим методом [18]. Повторность исследований трехкратная. Математическая обработка проведена с применением вариационного анализа.

### Результаты и обсуждение

По данным Пермского центра гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды, уровень загрязнения атмосферного воздуха г. Перми в 2015 г. по значению индекса загрязнения атмосферы (ИЗА) характеризовался как повышенный [15].

Всего за 2015 г. на всех семи ПНЗ г. Перми отмечено 173 случая превышения предельной допустимой концентрации (ПДК) по фторидам, 40 из них (23 %) наблюдалось на «городском фоновом» ПНЗ № 20 (рис. 1).

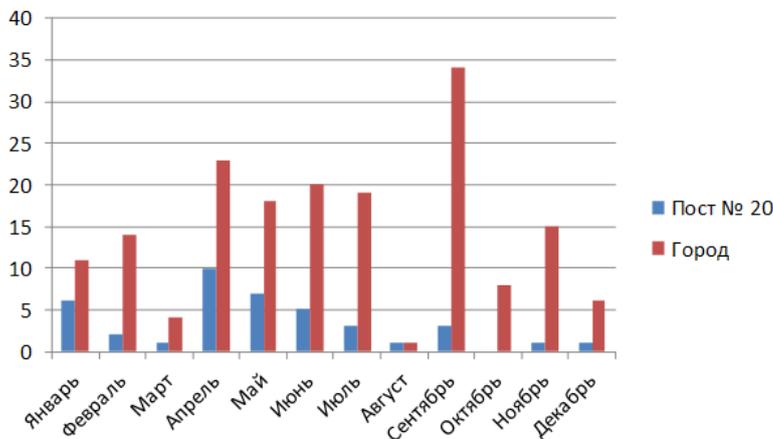


Рис. 1. Количество превышений ПДК содержания фторидов

На «промышленном» ПНЗ № 14, который находится в зоне влияния предприятий химической отрасли, связанных с производством фторированных материалов, в 2015 г. превышений ПДК не фиксировалось. За исследуемый период (июнь-сентябрь) на ПНЗ № 14 отмечено четыре превышения ПДК<sub>м.р.</sub> (фенол, HCl, формальдегид); на ПНЗ № 16 отмечено 10 превышений (HCl, ксилолы, этилбензол, взвешенные вещества); на ПНЗ № 20 отмечено 21 превышение ПДК (HF, формальдегид, фенол), при этом 18 превышений

отмечено по фтористому водороду [15]. На «фоновом» ПНЗ № 20 наиболее часто превышения ПДК по фтористому водороду фиксировались в апреле–июле и в сентябре, в августе они были минимальными (см. рис. 1).

Учитывая высокую фитотоксичность фторидов, можно предположить, что именно они оказывают негативное влияние на растения на территории, прилегающей к ПНЗ № 20. Было решено изучить реакцию растений на загрязнение воздуха соединениями фтора и ее возможную зависимость от частоты превышений ПДК по фтористому водороду, отмечаемой на ПНЗ № 20. Кроме того, необходимо было проверить возможность использования *Acer negundo* в качестве индикатора фторидного загрязнения.

Древесные растения имеют свойство поглощать и вовлекать в метаболизм газообразные загрязняющие вещества [2, 3, 6, 14], в частности, из воздуха интенсивно поглощаются соединения фтора [6, 12, 25], что приводит к их накоплению. Содержание фторидов в листьях *Acer negundo* на ПНЗ № 20 уже в июне было почти в десять раз выше, чем на промышленном ПНЗ № 14 и почти в 30 раз выше, чем на фоновом ПНЗ № 16. На ПНЗ № 14 и 16 содержание фторидов в листьях оставалось примерно одинаковым на протяжении всего времени исследований (от  $5,4 \pm 0,5$  мг/кг в июне до  $6,9 \pm 0,3$  мг/кг в июле на ПНЗ № 14 и от  $1,5 \pm 0,1$  мг/кг до  $1,4 \pm 0,1$  мг/кг на ПНЗ № 16). На ПНЗ № 20 содержание фторидов возрастало от  $47,9 \pm 0,1$  мг/кг в июне до  $65,1 \pm 0,9$  мг/кг в июле, затем в августе снизилось до  $39,4 \pm 1,0$  мг/кг. Данные о накоплении фторидов в листьях *Acer negundo* согласуются с данными об их концентрации в воздухе, полученными с ПНЗ. *Acer negundo* интенсивно поглощает соединения фтора из воздуха.

Таким образом, сравнивая данные по разным ПНЗ, можно отметить, что со снижением частоты фиксируемых превышений ПДК фторидов в воздухе уменьшается их содержание в листьях *Acer negundo* (табл. 1).

Таблица 1

Содержание фторидов в листьях *Acer negundo*, мг/кг

ПНЗ №	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
14	$5,4 \pm 0,5$	$6,9 \pm 0,3$	$5,8 \pm 0,5$	$3,7 \pm 0,1$
16	$1,5 \pm 0,1$	$1,4 \pm 0,1$	$1,2 \pm 0,1$	$1,1 \pm 0,1$
20	$47,9 \pm 0,1$	$65,1 \pm 0,9$	$39,4 \pm 1,0$	$26,3 \pm 1,0$

В результате исследований морфологических показателей листьев *Acer negundo* на «фоновых» и «промышленных» ПНЗ отмечен хлороз листьев (от 37 до 42 %), некроз (от 17 до 24 %), продырявленность (от 26 до 30 %), повреждение насекомыми (от 0 на ПНЗ № 14 до 10 %). Доля неповрежденных листьев варьировала от 4 до 10 % по всем ПНЗ. Таким образом, вблизи «городских фоновых» и «промышленных» ПНЗ повреждение листьев не имело существенных различий. Результаты исследований, проведенных в 2014 и 2015 гг., оказались сходными. По данным Е. С. Денисовой, [5] *Acer negundo* является устойчивым к загрязнению атмосферного воздуха.

На «промышленном» ПНЗ величина КФА составила 0,0714, на «фоновых» ПНЗ № 16 и 20 – 0,0622 и 0,0645 соответственно. На ПНЗ № 20 КФА в 2014 и 2015 г. были практически одинаковыми. КФА характеризует уровень

загрязнения воздуха вблизи всех исследуемых постов по шкале А. Б. Стрельцова [16] как «очень грязно». Коэффициент флуктуирующей асимметрии *Acer negundo* можно использовать в биоэкологическом мониторинге.

Загрязняющие вещества могут изменять количество и соотношение пигментов в листьях [2]. Каждый вид имеет свое оптимальное соотношение пигментов, которое может меняться в зависимости от экологических условий и уровня загрязнения атмосферного воздуха. Отношение хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в норме стабильно, но при действии неблагоприятных, в основном антропогенных факторов резко изменяется, причем эти изменения могут быть разными. Так, при хроническом действии небольших доз загрязняющих веществ отмечается уменьшение количества хлорофилла и каротиноидов [1, 4], в то же время при фотоокислительном стрессе, по данным О. Л. Воскресенской [2], содержание каротиноидов в листьях увеличивается.

Нами определено содержание пигментов в растительном материале. Содержание пигментов и их соотношение менялось по времени.

В листьях, отобранных вблизи ПНЗ № 20, отношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* в июле и в сентябре оказалось максимальным по сравнению с другими постами и составило 0,25 и 3,45 соответственно (табл. 2).

Таблица 2  
Содержание фотосинтетических пигментов (мг/кг) и их соотношение

Месяц	ПНЗ №	Хлорофилл			Каротиноиды	Соотношение хлорофилл / каротиноиды
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a / b</i>		
Июль	14	0,21 ± 0,03	1,42 ± 0,04	0,15	0,62 ± 0,02	2,63
	16	0,28 ± 0,04	2,02 ± 0,07	0,14	0,78 ± 0,01	2,95
	20	0,21 ± 0,01	1,83 ± 0,09	0,25	0,19 ± 0,01	10,74
Сентябрь	14	0,29 ± 0,06	0,11 ± 0,05	2,63	0,16 ± 0,01	2,50
	16	0,45 ± 0,03	0,15 ± 0,05	3,00	0,32 ± 0,02	1,88
	20	0,38 ± 0,03	0,11 ± 0,01	3,45	0,15 ± 0,01	3,27

В июле содержание каротиноидов в листьях вблизи ПНЗ № 20 было минимальным, соотношение «хлорофиллы : каротиноиды» в листьях составляло 10,7, в то время как на других участках – 2,69 и 2,95. В сентябре различия между площадками стали менее заметны (2,0–3,3) вследствие того, что снизилось содержание хлорофилла *b* в листьях, отобранных вблизи ПНЗ № 20.

Таким образом, содержание фотосинтетических пигментов в листьях *Acer negundo* может быть использовано как индикаторный показатель загрязнения.

Каталаза – компонент комплексной ферментативной защиты растения, прежде всего от токсичных соединений кислорода [2, 4]. Изменение активности антиоксидантных систем наблюдается в ответ на действие неблагоприятных факторов среды, в том числе и на загрязнение атмосферного воздуха [2, 3, 8, 13, 14]. Для большинства растений каталазная активность выше в зоне с минимальным антропогенным воздействием, а в промышленной зоне ее активность резко падает [2, 8, 13].

Самая высокая каталазная активность в листьях *Acer negundo* на всех ПНЗ наблюдалась в июле и снижалась к сентябрю. На «промышленном» ПНЗ № 14 зафиксированы самые низкие значения активности каталазы. На «городских фоновых» ПНЗ значения активности каталазы выше, чем на «промышленном», при этом на ПНЗ № 20 на протяжении всего периода исследований она была несколько ниже, чем на ПНЗ № 16 (табл. 3).

Таблица 3

Активность каталазы в листьях, мг O<sub>2</sub>/г × мин

ПНЗ №	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
14	14,3 ± 0,4	14,8 ± 0,7	13,8 ± 0,2	12,7 ± 0,5
16	17,8 ± 0,4	18,2 ± 0,2	17,1 ± 0,5	15,9 ± 0,2
20	16,5 ± 0,4	17,2 ± 0,5	15,8 ± 0,5	14,4 ± 0,5
20 (2014 г.)	–	17,0 ± 0,2	–	–

Полученные значения подтверждают, что каталазная активность выше на участках с минимальным антропогенным воздействием, а в зоне с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха ее значения существенно снижаются. Активность каталазы в листьях *Acer negundo*, отобранных вблизи «городского фонового» ПНЗ № 20, ниже по сравнению с таковой на «городском фоновом» ПНЗ № 16, что может быть связано с действием фторидов.

### Заключение

*Acer negundo* L. является устойчивым к загрязнению атмосферного воздуха инвазивным видом, имеющим широкое распространение на территории г. Перми. Данный вид интенсивно накапливает соединения фтора из атмосферного воздуха, что позволяет предложить его для целей биомониторинга как концентратора фторидов. Кроме того, в качестве индикаторного показателя загрязнения воздуха могут быть использованы КФА листьев, содержание в них фотосинтетических пигментов и активность каталазы.

### Библиографический список

1. **Боброва, А. В.** Анализ состояния березы повислой и клена ясенелистного на территории ООПТ «Черняевский лес» г. Перми / А. В. Боброва, Е. В. Пименова // Антропогенная трансформация природной среды. – 2017. – № 3. – С. 31–33.
2. **Воскресенская, О. Л.** Изменение активности антиоксидантных ферментов у интродуцированных хвойных растений в условиях городской среды / О. Л. Воскресенская, Е. В. Сарбаева, Е. А. Старикова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 2 (30). – С. 56–59.
3. **Gorelova, S. V.** The use of higher plants in biomonitoring and environmental bioremediation / S. V. Gorelova, M. V. Frontasyeva // Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants. – 2017. – Vol. 5. – С. 103–155. – DOI 10.1007/978-3-319-52381-1\_5.
4. **Жакова, С. Н.** Экологический мониторинг зеленых насаждений и урбаноземов некоторых скверов и парков г. Перми / С. Н. Жакова, Э. Ф. Сатаев // Пермский аграрный вестник. – 2017. – № 3 (19). – С. 4–9.
5. **Денисова, Е. С.** Газопоглотительная способность клена ясенелистного в условиях Западной Сибири / Е. С. Денисова // Динамика систем, механизмов и машин. – 2014. – № 4. – С. 205–208.

6. **Рунова, Е. М.** Влияние фтористых соединений на состояние городской растительности / Е. М. Рунова, Л. В. Аношкина, Г. А. Аверина // Системы. Методы. Технологии. – 2012. – № 2 (14). – С. 126–129.
7. Fluoride distribution and contamination in the water, soil and plants continuum and its remedial technologies, an Indian perspective – a review / G. Singh, B. Kumari, G. Synam, K. Kriti, N. Kumar, S. Mallick // Environmental Pollution. – 2018. – Vol. 239. – С. 95–108. – DOI 10.1016/j.envpol.2018.04.002.
8. **Alqurainy, Ali Akram.** Activities of antioxidants in plants under environmental stress / Ali Akram Alqurainy. – Riyadh : King Saud University, 2007. – 50 p.
9. **Савинов, А. Б.** Биоиндикационный аспект изменчивости листьев *Acer negundo* L. при загрязнении городских почв тяжелыми металлами / А. Б. Савинов, Ю. Д. Никитин, Е. А. Ерофеева // Проблемы региональной экологии. – 2018. – № 5. – С. 45–47.
10. **Турлибекова, Д. М.** Содержание тяжелых металлов у *Acer negundo* в условиях промышленного загрязнения города Орска / Д. М. Турлибекова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2014. – № 6 (167). – С. 148–149.
11. **Бухарина, И. Л.** Динамика активности медьсодержащих ферментов в листьях древесных растений в условиях крупного промышленного центра (Среднее Поволжье) / И. Л. Бухарина, А. М. Кузьмина, П. А. Кузьмин // Растительные ресурсы. – 2018. – Т. 54, № 2. – С. 280–289.
12. **Виноградова, Е. Н.** Морфометрический анализ годичного побега растений *Acer negundo* L., произрастающих в условиях техногенного загрязнения среды в Донбассе / Е. Н. Виноградова // Самарский научный вестник. – 2016. – № 3 (16). – С. 13–17.
13. **Жакаева, А. М.** Активность каталазы в листьях *Acer negundo* и *Ulmus parvifolia* в районах города Орска с разной антропогенной нагрузкой / А. М. Жакаева, О. А. Саблина // Системы контроля окружающей среды – 2016 : сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. – Ставрополь : Ин-т природно-технических систем, 2016. – С. 155.
14. **Prysedskij, Y.** Changes in catalase activity in leaves of wood and bushy plants in the conditions of air pollution by compounds of fluorine, sulfur and nitrogen / Y. Prysedskij // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. – 2016. – Т. 24, № 2. – С. 295–301.
15. О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2015 году : доклад. – 2016. – URL: <http://www.permecology.ru/> (дата обращения: 10.04.2018).
16. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / ред.: О. П. Мелехова, Е. И. Сарапульцева. – Москва : Академия, 2010. – 288 с.
17. **Степанов, К. И.** Методические указания по определению элементов фотосинтетической продуктивности растений / К. И. Степанов, Л. В. Недранко. – Кишинев : Штиинца, 1988. – 36 с.
18. Практикум по агрохимии / под ред. В. Г. Минеева, В. Г. Сычева. – Москва : Изд-во МГУ, 2001. – 688 с.

### References

1. Bobrova A. V., Pimenova E. V. *Antropogennaya transformatsiya prirodnoy sredy* [Antropogenic transformation of the natural environment]. 2017, no. 3, pp. 31–33. [In Russian]
2. Voskresenskaya O. L., Sarbaeva E. V., Starikova E. A. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of Ulyanovsk State Agricultural Academy]. 2015, no. 2 (30), pp. 56–59. [In Russian]
3. Gorelova S. V., Frontasyeva M. V. *Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants*. 2017, vol. 5, pp. 103–155. DOI 10.1007/978-3-319-52381-1\_5.
4. Zhakova S. N., Sataev E. F. *Permskiy agrarnyy vestnik* [Perm agrarian bulletin]. 2017, no. 3 (19), pp. 4–9. [In Russian]

5. Denisova E. S. *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin* [Dynamics of systems, mechanisms and machines]. 2014, no. 4, pp. 205–208. [In Russian]
6. Runova E. M., Anoshkina L. V., Averina G. A. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies]. 2012, no. 2 (14), pp. 126–129. [In Russian]
7. Singh G., Kumari B., Sinam G., Kriti K., Kumar N., Mallick S. *Environmental Pollution*. 2018, vol. 239, pp. 95–108. DOI 10.1016/j.envpol.2018.04.002.
8. Alqurainy Ali Akram. *Activities of antioxidants in plants under environmental stress*. Riyadh: King Saud University, 2007, 50 p.
9. Savinov A. B., Nikitin Yu. D., Erofeeva E. A. *Problemy regional'noy ekologii* [Problems of regional ecology]. 2018, no. 5, pp. 45–47. [In Russian]
10. Turlibekova D. M. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Orenburg State University]. 2014, no. 6 (167), pp. 148–149. [In Russian]
11. Bukharina I. L., Kuz'mina A. M., Kuz'min P. A. *Rastitel'nye resursy* [Vegetative resources]. 2018, vol. 54, no. 2, pp. 280–289. [In Russian]
12. Vinogradova E. N. *Samarskiy nauchnyy vestnik* [Samara scientific bulletin]. 2016, no. 3 (16), pp. 13–17. [In Russian]
13. Zhakaeva, A. M., Sablina O. A. *Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy – 2016: sb. tr. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Systems of environmental control – 2016: proceedings of an International scientific and technical conference]. Stavropol: In-t prirodno-tekhnicheskikh sistem, 2016, p. 155. [In Russian]
14. Prysedskiy Y. *Visnik Dnipropetrovs'kogo universitetu. Biologiya. Ekologiya* [Bulletin of Dnepropetrovsk University. Biology. Ecology]. 2016, vol. 24, no. 2, pp. 295–301.
15. *O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Permskogo kraya v 2015 godu: doklad* [On the condition and environmental protection of Perm region in 2015: a report]. 2016. Available at: <http://www.permecology.ru/> (accessed Apr. 10, 2018). [In Russian]
16. *Biologicheskii kontrol' okruzhayushchey sredy: bioindikatsiya i biotestirovanie* [Biological control of the environment: bioindication and biotesting]. Eds.: O. P. Melekhova, E. I. Sarapul'tseva. Moscow: Akademiya, 2010, 288 p. [In Russian]
17. Stepanov K. I., Nedranko L. V. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu elementov fotosinteticheskoy produktivnosti rasteniy* [Instructional guidelines on identifying elements of photosynthetic productivity of plants]. Kishinev: Shtiintsa, 1988, 36 p. [In Russian]
18. *Praktikum po agrokhimii* [Agrochemistry tutorial]. Eds. V. G. Mineev, V. G. Sychev. Moscow: Izd-vo MGU, 2001, 688 p. [In Russian]

**Лихачев Сергей Васильевич**

кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент, кафедра экологии, Пермский  
государственный аграрно-  
технологический университет  
имени академика Д. Н. Прянишникова  
(Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23)

E-mail: slichachev@yandex.ru

**Likhachev Sergey Vasil'evich**

Candidate of agricultural sciences, associate  
professor, sub-department of ecology, Perm  
State Agro-Technological University named  
after Academician D. N. Pryanishnikov  
(23 Petropavlovskaya street, Perm,  
Russia)

**Пименова Елена Валентиновна**

кандидат химических наук, доцент,  
заведующий кафедрой экологии,  
Пермский государственный аграрно-  
технологический университет  
имени академика Д. Н. Прянишникова  
(Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23)

E-mail: evpimenova@mail.ru

**Pimenova Elena Valentinovna**

Candidate of chemical sciences, associate  
professor, sub-department of ecology, Perm  
State Agro-Technological University named  
after Academician D. N. Pryanishnikov  
(23 Petropavlovskaya street, Perm,  
Russia)

**Жакова Светлана Николаевна**

кандидат биологических наук, доцент,  
кафедра экологии, Пермский  
государственный аграрно-  
технологический университет  
имени академика Д. Н. Прянишникова  
(Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23)

E-mail: zhakova@pgsha.ru

**Zhakova Svetlana Nikolaevna**

Candidate of biological sciences, associate  
professor, sub-department of ecology, Perm  
State Agro-Technological University named  
after Academician D. N. Pryanishnikov  
(23 Petropavlovskaya street, Perm,  
Russia)

---

**Образец цитирования:**

Лихачев, С. В. Индикация фторидного загрязнения в экологическом мониторинге территории г. Перми с помощью *Acer negundo* L. / С. В. Лихачев, Е. В. Пименова, С. Н. Жакова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2019. – № 3 (27). – С. 110–118. – DOI 10.21685/2307-9150-2019-3-11.