

УДК 504.05:582(571.51)

## ВЛИЯНИЕ ВЫБРОСОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ НА СТАБИЛЬНОСТЬ РАЗВИТИЯ ТОПОЛЯ БАЛЬЗАМИЧЕСКОГО

<sup>1</sup>Коротченко И.С., <sup>2</sup>Лебедев Н.А., <sup>2</sup>Первышина Г.Г., <sup>2</sup>Кондратюк Т.А., <sup>1</sup>Медведева В.А.<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»,  
Красноярск, e-mail: kisaspi@mail.ru;<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: eva\_apple@mail.ru

Города Красноярск и Назарово Красноярского края как промышленные центры подвергаются воздействию комплекса антропогенных факторов. Основными загрязнителями окружающей среды в Красноярском крае являются промышленные предприятия и объекты теплоэнергетики. В настоящей работе рассматривали воздействие АО «Назаровская ГРЭС» и Красноярской ТЭЦ-2. Высокое загрязнение среды г. Красноярска и г. Назарово от ТЭЦ и ГРЭС вызвано тем, что в качестве топлива используют бурый уголь Назаровского и Бородинского разрезов. Биоиндикация качества урбанизированной среды по стабильности развития растительных организмов проводится по уровню флуктуирующей асимметрии. Среди объектов исследования доминируют древесные растения из-за доступности, широкого ареала распространения, экологической пластичности к условиям городской среды. Цель данной работы заключалась в оценке стабильности развития тополя бальзамического, произрастающего вблизи предприятий: АО «Назаровская ГРЭС» и Красноярская ТЭЦ-2. Для оценки стабильности развития тополя бальзамического применяли показатель флуктуирующей асимметрии листовых пластинок. На исследованных территориях выявлено различие в значениях интегрального индекса флуктуирующей асимметрии листовой пластинки тополя бальзамического, наиболее чувствительные морфометрические показатели листовой пластинки тополя для каждой из экспериментальной площадки. Среднее значение интегральных показателей для тополей, произрастающих вблизи АО «Назаровская ГРЭС» и Красноярской ТЭЦ-2 равно 0,1059 и 0,07265 соответственно, что говорит о неблагоприятном состоянии окружающей среды. С помощью факторного анализа параметров асимметрии морфометрических параметров листовой пластинки тополя бальзамического показано ведущее воздействие на них объема выбросов загрязняющих веществ, образующихся в результате деятельности исследуемых объектов теплоэнергетики.

**Ключевые слова:** окружающая среда, биоиндикация, флуктуирующая асимметрия, бурый уголь, тополь бальзамический

## INFLUENCE OF EMISSIONS FROM THERMAL POWER PLANTS OF THE KRASNOYARSK REGION ON THE STABILITY OF DEVELOPMENT OF BALSAMIC POPLAR

<sup>1</sup>Korotchenko I.S., <sup>2</sup>Lebedev N.A., <sup>2</sup>Pervyshina G.G., <sup>2</sup>Kondratyuk T.A., <sup>1</sup>Medvedeva V.A.<sup>1</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, e-mail: kisaspi@mail.ru;<sup>2</sup>Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: eva\_apple@mail.ru

The cities of Krasnoyarsk and Nazarovo of the Krasnoyarsk Territory as industrial centers are exposed to a complex of anthropogenic factors. The main environmental pollutants in the Krasnoyarsk Territory are industrial enterprises and thermal power facilities. In this work, the impact of Nazarovskaya GRES JSC and Krasnoyarsk TЭЦ-2 was considered. High pollution of the environment of Krasnoyarsk and Nazarovo from the CHP and GRES is caused by the fact that brown coal of the Nazarovsky and Borodinsky sections is used as fuel. Bioindication of the quality of the urbanized medium by the stability of the development of plant organisms is carried out according to the level of fluctuating asymmetry. Among the objects of study, woody plants dominate due to accessibility, wide distribution range, ecological plasticity to urban conditions. The purpose of this work was to assess the stability of the development of balsamic poplar growing near enterprises: JSC Nazarovskaya GRES and Krasnoyarsk TЭЦ-2. To assess the stability of the development of balsamic poplar, the index of fluctuating asymmetry of sheet plates was used. Difference in values of integral index of fluctuating asymmetry of leaf plate of balsamic poplar, most sensitive morphometric indices of leaf plate of poplar for each of experimental site are revealed in examined territories. The average value of integral indicators for poplars growing near Nazarovskaya GRES JSC and Krasnoyarsk TЭЦ-2 is 0,1059 and 0,0726, respectively, which indicates an unfavorable state of the environment. With the help of factor analysis of parameters of asymmetry of morphometric parameters of the sheet plate of balsamic poplar, the leading effect on them of the volume of emissions of pollutants formed as a result of the activity of the analysed objects of thermal power engineering is shown.

**Keywords:** environment, bioindication, fluctuating asymmetry, brown coal, balsamic poplar

Красноярский край расположен в зоне резко континентального климата, характеризующегося существенным перепадом температур (20–25 °С) [1] и наличием неблагоприятной экологической обстановки урбанизированных территорий как в силу размещения на их территории объ-

ектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую природную среду, так и влияния автотранспортной нагрузки. Так, согласно Приказу Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 154 [2] расположенные на территории г. Назарово Красноярского края АО «Назаровская

ГРЭС» и на территории г. Красноярска Красноярская ТЭЦ-2 (оба объекта являются предприятиями Енисейской территориальной генерирующей компании (ТГК-13)) отнесены к объектам I категории, вклад которых в суммарные выбросы и сбросы загрязняющих веществ в окружающую среду Российской Федерации составляет не менее 60%. Данное негативное воздействие в значительной степени способствует снижению стабильности развития древесных растений, произрастающих на территории рассматриваемых городских поселений и выполняющих как средообразующие, так и средозащитные функции, связанные с формированием микроклимата, улавливанием загрязняющих веществ, выделением кислорода, фитонцидов. Значительное распространение в озеленении рассматриваемых городских территорий получили различные виды тополя, и в частности тополь бальзамический. Это связано с неприхотливостью рассматриваемого растения (сравнительно низкая требовательность к почве, влаге, морозоустойчивость), быстрым ростом (то есть способностью быстро набирать зеленую массу), а также устойчивостью к воздействию пыли и газов (в первую очередь выбросов автотранспорта) [3]. Естественно, оказываемые стрессирующие воздействия урбанизированной среды (в первую очередь абиотические параметры) приводят к изменению гомеостаза развития и могут быть оценены по нарушению морфогенетических процессов, одним из показателей которого с морфологической точки зрения является флуктуирующая асимметрия (ФА) [4–6]. В то же время изучение флуктуирующей асимметрии листовых пластинок древесных растений показало серьезное влияние на данный показатель антропогенной нагрузки [7–9].

Целью настоящей работы являлось проведение сравнительной оценки стабильности развития тополя бальзамического, произрастающего вблизи предприятий Енисейской территориальной генерирующей компании (на примере АО «Назаровская ГРЭС» и Красноярской ТЭЦ-2), использующих в качестве основного топлива бурый уголь Назаровского и Бородинского разрезов соответственно.

#### Материалы и методы исследования

В качестве модельных объектов использовали полносформированные листья тополя бальзамического, собранные 16–29 августа 2019 года (после полной остановки

роста листьев) с укороченных побегов в нижней части дерева на территории экспериментальных площадок, характеристика которых представлена в табл. 1. Сбор материала производили в соответствии с рекомендациями, изложенными в методике оценки состояния популяций по показателям нарушения стабильности развития [10; 11]. На каждом экспериментальном участке осуществлен отбор по 20 листьев с 6 деревьев ( $n = 120$ ) (табл. 1).

Выбор экспериментальных площадок обусловлен различием в основном виде топлива (табл. 2).

Отбор растительных образцов, измерение морфометрических характеристик и статистическую обработку полученных данных проводили по стандартным методикам [10; 11]. Листья отжимали между слоями фильтровальной бумаги и гербаризировали. Для обмера использовали листовые пластинки, в количестве 10 шт., не имеющие механического повреждения или деформации. Подготовленное растительное сырье сканировали с разрешением не менее 400 dpi, измерение морфометрических характеристик проводилось 3 участниками с использованием программы ImageJ, информация о месте сбора листьев была зашифрована. Измерения проводились с точностью: линейные – до 0,1 мм, угловые – до 0,1°. На листовых пластинках осуществляли промеры наиболее стандартных метрических билатеральных признаков:

$j_1$  – ширины левой и правой половинок листовой пластинки;

$j_2$  – расстояния от основания листовой пластинки до конца жилки второго порядка;

$j_3$  – расстояния между основаниями первой и второй жилок второго порядка;

$j_4$  – расстояния между концами первой и второй жилок второго порядка;

$j_5$  – угла между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программ Microsoft Excel, Statistica.

#### Результаты исследования и их обсуждение

По данным государственного доклада «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае», среди объектов теплоэнергетики Красноярского края главными источниками негативного влияния на атмосферный воздух, определяющими уровень загрязнения городов и районов края,

являются исследуемые нами – Назаровская ГРЭС и Красноярская ТЭЦ-2. Так, общий объем выбросов загрязняющих веществ в результате деятельности АО «Назаровская ГРЭС» – 47,6 тыс. т, Красноярской ТЭЦ-2 – 15,0 тыс. т за 2018 год. В результате деятельности данных предприятий в атмосферу выбрасываются твердые вещества, сернистый ангидрид, оксиды азота, угарный газ и др. В составе твердых частиц имеются токсичные компоненты – тяжелые металлы, такие как кадмий, свинец, ртуть, цинк и др. [12].

Из данных, представленных на рис. 1, видно, что наиболее чувствительными при-

знаками у тополя бальзамического, произрастающего вблизи АО «Назаровская ГРЭС», являются расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка и расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка, что согласуется с данными [13]; нами в данной зоне исследована стабильность развития лопуха большого, и наиболее чувствительными признаками явились: расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка и угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка [14].

Таблица 1

Расположение экспериментальных площадок

№ площадки	Описание территории	Точки сбора растительного материала (наличие источников антропогенного загрязнения в пределах 500–1000 м)
1	г Назарово, Красноярский край: ОАО «Назаровская ГРЭС», дорога обычного типа (не скоростная) категории II *	
2	г. Красноярск, Свердловский район: Красноярская ТЭЦ-2, дорога обычного типа (не скоростная) категории II *	

Примечание. \* – согласно ГОСТ Р 52398-2005.

Таблица 2

Сравнительный анализ рассматриваемых объектов теплоэнергетики Красноярского края, выполненный по данным Сибирской генерирующей компании

Объекты теплоэнергетики	Тип	Установленная тепловая мощность, Гкал/час	Установленная электрическая мощность, МВт	Годовая выработка электричества, млн кВт·ч	Основное топливо	Высота самой высокой трубы, м
АО «Назаровская ГРЭС»	Тепловая электростанция	775/840	1313/1243	4426,05	Уголь Назаровского (и Бородинского**) разрезов, марка угля 2Б	250
Красноярская ТЭЦ-2	Теплоэлектростанция	1405/1405	465/465	2635,75	Бурые уголь Бородинского разреза	180

У тополя бальзамического в зоне воздействия Красноярской ТЭЦ-2 проявление асимметричного развития изучаемых билатеральных признаков в наибольшей степени выражено по ширине половинок и по размеру угла между центральной и второй жилками. Можно предположить, что первоначальной реакцией на изменение условий обитания по степени антропогенной нагрузки у тополя бальзамического является изменение темпов роста тканей в районе первой и второй жилок, при значительном загрязнении в виде выбросов изменения за-

трагивают темп роста пластинок в ширину, что отражается и на величине угла между центральной и второй жилками. Подобное воздействие красноярских ТЭЦ на стабильность развитие тополя бальзамического было выявлено нами и ранее [8].

Интегральный показатель флуктуирующей асимметрии (ИФА) листовых пластинок тополя бальзамического отличался у особей с различных участков, так, под воздействием АО «Назаровская ГРЭС» он составлял 0,1059, под действием Красноярской ТЭЦ-2 – 0,0726 (рис. 2).

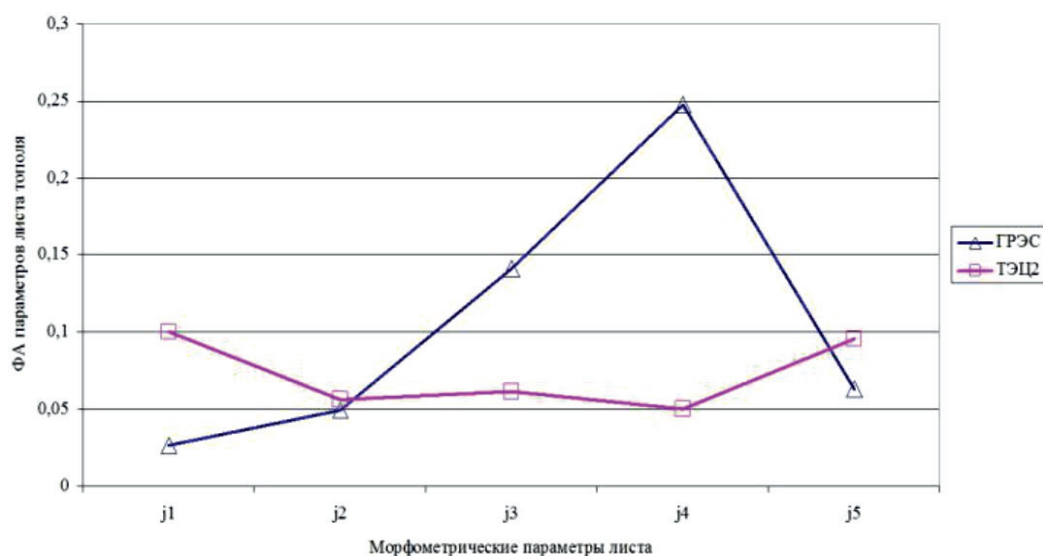


Рис. 1. Значения индексов асимметрии листьев тополя бальзамического

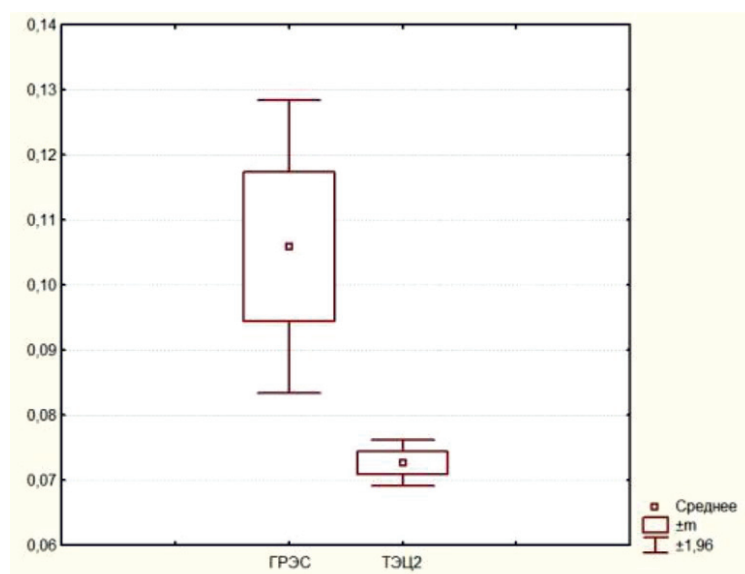


Рис. 2. Значения ИФА листьев тополя бальзамического



С целью выявления причин (факторов) отличий показателей ФА на исследуемых территориях проанализированы показатели асимметрии отдельных морфометрических параметров листовой пластинки тополя бальзамического, интегральный показатель ФА и объем выбросов загрязняющих веществ, образующихся в результате деятельности ТЭЦ и ГРЭС (табл. 3).

Как видно из результатов, изменение величин ФА параметров листовой пластинки тополя бальзамического на 93,33% объясняется действием двух факторов. С первым фактором тесно связаны  $j_1, j_3, j_4$ , ИФА, объем выбросов, факторные нагрузки на эти

признаки составляют 0,984889, 0,876312, 0,951283, 0,879979 и 0,991054 соответственно. Это позволяет интерпретировать данный фактор как мощность выбросов предприятий теплоэнергетики. Со вторым фактором связан параметр  $j_2$ , факторные нагрузки 0,816798, что позволяет трактовать данный фактор как вид топлива, используемого при сжигании. Относительный вклад выявленных факторов в варьирование исследуемых показателей существенно отличается, для фактора 1 – 75,3431%, фактора 2 – 18,5908%. На рис. 3 показано расположение точек отбора проб в пространстве выявленных факторов.

**Таблица 3**

Результаты факторного анализа показателей асимметрии морфометрических параметров листовой пластинки тополя бальзамического

Показатель	Фактор 1	Фактор 2
$j_1$	<b>0,984889</b>	0,087859
$j_2$	0,536488	<b>-0,816798</b>
$j_3$	<b>-0,876312</b>	-0,241758
$j_4$	<b>-0,951283</b>	-0,136391
$j_5$	0,766012	-0,582261
ИФА	<b>-0,879979</b>	-0,455272
Объем выбросов	<b>-0,991054</b>	-0,055959
Информационный вклад, %	75,3431	18,5908

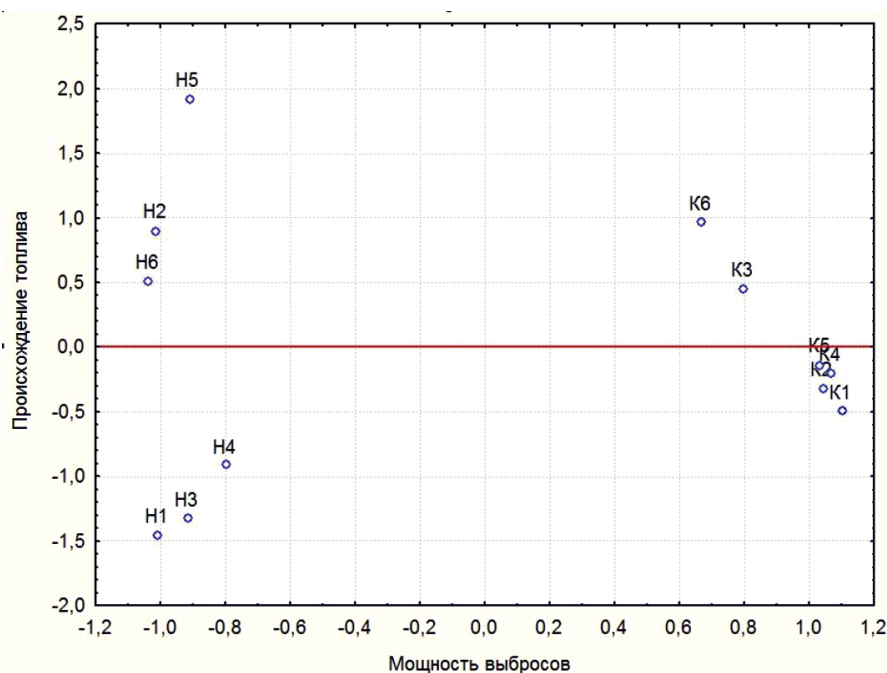


Рис. 3. Расположение точек отбора проб в пространстве выявленных факторов

Помимо выбросов загрязняющих веществ, образующихся в результате деятельности ТЭЦ и ГРЭС, на прилегающую территорию воздействует золошлаковый материал, производимый в результате деятельности объектов теплоэнергетики. Согласно Целюк Д.И. (2009) бурый уголь (зольность 8–12%) Назаровского и Бородинского разрезов типичен по золошлакам. Минералогия золошлакового материала схожа и образует 3 ассоциации геохимических элементов: Co – Ni – Mn; Ti – Zr – V – Cr; Pb – Zn, загрязняющие окружающую среду [15].

### Заключение

Интегральный индекс флуктуирующей асимметрии листовой пластинки тополя бальзамического, произрастающего вблизи АО «Назаровская ГРЭС», был выше в 1,5 раза, чем у листьев растений, находящихся около Красноярской ТЭЦ-2 – это указывает на наименьшую стабильность развития тополя бальзамического, произрастающего вблизи АО «Назаровская ГРЭС».

Так как нами были отобраны экспериментальные участки с одинаковой автотранспортной нагрузкой, то различие в данном воздействии отсутствует. На исследуемых экспериментальных площадках приоритетное воздействие оказали выбросы от объектов теплоэнергетики, использующих в качестве основного топлива бурый уголь Назаровского и Бородинского разрезов.

### Список литературы / References

1. Природа и хозяйство района первоочередного формирования КАТЭКа / В.В. Буфал и др. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1983. 261 с.
2. Nature and economy of the area of primary formation of KATEK/V.V. Bufal and others. Novosibirsk: Science, Sib. Department, 1983. 261 p. (in Russian).
3. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 18.04.2018 № 154 «Об утверждении перечня объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, относящихся к I категории, вклад которых в суммарные выбросы, сбросы загрязняющих веществ в Российской Федерации составляет не менее чем 60 процентов». [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201807020040> (дата обращения: 07.07.2020).
4. The order of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Russian Federation from 7/07/2018 of No. 154 «About the Approval of the List of the Objects Making Negative Impact on the Environment, Belonging to the I Category Which Contribution to Total Emissions, Dumpings of Pollutants in the Russian Federation Makes Not Less than 60 Percent». [Electronic resource]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201807020040> (date of the application: 07.07.2020) (in Russian).
5. Рунова Е.М., Аношкина Л.В. Инструментальная оценка городских посадок тополя бальзамического // Лесотехнический журнал. 2017. № 3. С. 136–142.
6. Runova E.M., Anoshkina L.V. Instrumental assessment of urban planting of balsamic poplar // Forest engineering journal. 2017. № 3. P. 136–142 (in Russian).
7. Sandner T.M., Matthies D. Fluctuating asymmetry of leaves is a poor indicator of environmental stress and genetic stress by inbreeding in *Silene vulgaris*. *Ecological Indicators*. 2017. 79. P. 247–253.
8. Zverev V., Lama A.D., Kozlov M.V. Fluctuating asymmetry of birch leaves did not increase with pollution and drought stress in a controlled experiment. *Ecological Indicators*. 2018. 84. P. 283–289.
9. Shadrina E., Vol'pert Ya., Soldatova V., Alekseeva N., Pudova T. Evaluation of Environmental Conditions in Two Cities of East Siberia Using Bio-indication Methods (Fluctuating Asymmetry Value and Mutagenic Activity of Soils). *International Journal of Biology*. 2014. Vol. 7. № 1. P. 20–32.
10. Turmukhametova N.V. Evaluation of the State of the Environment in Yoshkar-Ola Using Morphometric Indicators of *Betula pendula* Roth. *Biology Bulletin*. 2020. Vol. 47. № 2. P. 191–197.
11. Коротченко И.С. Влияние теплоэнергетического комплекса г. Красноярска на величину флуктуирующей асимметрии листовой пластинки тополя бальзамического // Вестник КрасГАУ. 2015. № 8. С. 15–20.
12. Korotchenko I.S. The influence of the Krasnoyarsk heat-power complex on the size of the fluctuating asymmetry of the balsam poplar leaf plate // *Vestnik KrasGAU*. 2015. № 8. P. 15–20 (in Russian).
13. Попельницкая И.М., Попов А.О. Флуктуирующая асимметрия листьев тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в городской среде // Успехи современного естествознания. 2017. № 12. С. 72–78.
14. Popelnitskaya I.M., Popov A.O., Fluctuating asymmetry of poplar (*Populus balsamifera* L.) in the urban environment // *Advances in current natural sciences*. 2017. № 12. P. 72–78 (in Russian).
15. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И. и др. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 68 с.
16. Zakharov V.M., Baranov A.S., Borisov V.I. [et al.]. Health of the environment: assessment technique. M.: Center for environmental policy of Russia, 2000. 68 p. (in Russian).
17. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ: распоряжение Росэкологии от 16 октября 2003 г. № 460-р. М., 2003. 24 с.
18. Methodical recommendations about performance of assessment of quality of the environment about a condition of living beings: *Roskologiya's order of October 16, 2003 № 460-r*. M., 2003. 24 p. (in Russian).
19. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2018 году». Красноярск, 2019. 302 с.
20. State Report «On the State and Environmental Protection in the Krasnoyarsk Territory in 2018». Krasnoyarsk, 2019. 302 p. (in Russian).
21. Дроздова А.В., Мельник И.Е. Оценка экологического состояния территории Соколовских нефтяных ям (Астраханская область) методом фитоиндикации // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. 2018. № 5. С. 6–15.
22. Drozdova A.V., Melnik I.E. Estimation of the ecological state of territory of Sokolovskyof petroleum pits (Astrakhan region) by the method of fitoindication // *Modern science: topical problems of theory and practice*. 2018. № 5. P. 6–15 (in Russian).
23. Слепов А.Н., Лагунов А.Н., Коротченко И.С., Бояринова С.П., Первышина Г.Г. Оценка стабильности развития *Arctium Lappa* вблизи объектов КАТЭК, расположенных на территории Назаровского района Красноярского края // Уголь. 2019. № 6. С. 102–105.
24. Slepov A.N., Lagunov A.N., Korotchenko I.S., Boyarinova S.P., Pervyshina G.G. Assessment of stability of development of *Arctium Lappa* near the objects of KATEK located in the territory of Nazarovsky district of Krasnoyarsk krai // *Ugol*. 2019. № 6. P. 102–105 (in Russian).
25. Целюк Д.И. Типизация золошлаковых отходов Красноярского края // Разведка и охрана недр. 2009. № 8. С. 52–57.
26. Tseliuk D.I. Typification of the ash-slag withdrawals of the Krasnoyarskiy kray // *Prospect and protection of mineral resources*. 2009. № 8. P. 52–57 (in Russian).