

УДК 58.01/07 (571.51) + 712.413

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ БИОИНДИКАЦИОННОЙ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ К ТЕХНОГЕННОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Ю. В. Кладько, Л. Н. Скрипальщикова

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

E-mail: kladaJ@mail.ru, lara@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 22.04.2019 г.

Разработана методика комплексной балльной биоиндикационной оценки устойчивости древесных растений к техногенному загрязнению и антропогенной нагрузке на урбанизированных территориях. Для оценки используется более широкий набор показателей, чем у существующих методик, которые характеризуют последствия техногенного воздействия: симметричность кроны, повреждения ствола, состояние коры, ветвей, плотность кроны, преждевременное пожелтение или химические ожоги хвои или листьев, наличие поражений хвои или листьев вредителями и патогенами. Апробация методики проведена на древесных растениях восьми видов: сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L., ель колючая *Picea pungens* Engelm., береза повислая *Betula pendula* Roth, вяз приземистый *Ulmus pumila* L., тополь бальзамический *Populus balsamifera* L., рябина обыкновенная *Sorbus aucuparia* L., черемуха Маака *Padus maackii* Rupr., яблоня ягодная *Malus baccata* (L.) Borkh., произрастающих на территории г. Красноярска в условиях техногенного загрязнения различного состава и интенсивности. По результатам оценки с использованием разработанной методики выявлено, что сосна обыкновенная, береза повислая, вяз приземистый и рябина обыкновенная более чувствительны к загрязнению от автотранспорта по сравнению с другими видами, а сосна обыкновенная, ель колючая, береза повислая, вяз приземистый, рябина обыкновенная и яблоня ягодная – к выбросам промышленных предприятий. Эти виды могут использоваться в качестве индикаторов техногенного загрязнения. Тополь бальзамический и черемуха Маака устойчивы к загрязнению от промышленных предприятий и автотранспорта, их целесообразно применять для создания зеленых насаждений на территориях с высоким уровнем техногенного загрязнения, в том числе в санитарно-защитных зонах промышленных предприятий. Разработанная методика может быть рекомендована к практическому применению в сфере зеленого строительства и мониторинга состояния зеленых насаждений на урбанизированных территориях.

Ключевые слова: городские насаждения, экологические зоны, техногенное загрязнение, древесные растения, устойчивость.

DOI: 10.15372/SJFS20190604

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время происходит интенсивный рост урбанизированных территорий и занимаемой ими суммарной площади. Этим территориям присуща сложная экологическая обстановка, связанная с химическим загрязнением атмосферы, почв, над- и подземных вод, с неблагоприятным воздействием физических факторов (влиянием искусственного освещения, локального повышения температуры воздуха и почвы в результате воздействия теплотрасс) и высо-

кой антропогенной нагрузкой, что приводит к снижению их природно-ландшафтного потенциала (Шергина, Михайлова, 2007; Мартыненко и др., 2009; Тутыгин и др., 2009; Мударисов и др., 2013; Васнев, 2016 и др.). В этой связи роль древесных насаждений естественного и искусственного происхождения, выполняющих средообразующие и средозащитные функции, трудно переоценить. Между тем на растения индустриальных городов воздействует множество антропогенных факторов (Калугина и др., 2017; Рунова, Шиверских, 2018). Так, превышение

ПДК в воздухе ряда токсичных веществ (оксидов, соединений галогенов, полициклических органических соединений, тяжелых металлов, а также сажи и др.) вызывает повреждение листьев и годовых побегов, изреживание кроны, снижение декоративности и со временем приводит к общему ухудшению жизненного состояния и даже гибели растений (Красинский, 1950; Николаевский, 1979; Кулагин, 1980; Кирдянов и др., 2014). Промышленное и автотранспортное загрязнение, асфальтовое покрытие улиц, отрицательное воздействие канализационных систем и тепломагистралей, сбор и уничтожение листовой подстилки, недостаток питания и влаги в уплотненной почве, механические повреждения корневой системы при посадке и эксплуатации, облом веток, вершин, раскачивание стволов, образование морозобойных трещин, ран и прочее также приводят к ослаблению важных средообразующих функций городских насаждений (Протопопова, 1972; Василюк и др., 1987; Калугина и др., 2017).

Современное состояние зеленых насаждений крупного промышленного города Красноярска вызывает огромное беспокойство и требует неотложных мероприятий по улучшению их качества (Лисотова и др., 2018). В последнее время его зеленые насаждения не обновляются и ликвидируются в связи с расширением дорог, при этом не производится их полноценная компенсация, обедняется породный состав (Никитин, 2016). В сложившейся ситуации актуально проводить регулярный мониторинг экологического состояния зеленых насаждений, который позволил бы оценить в динамике их состояние, устойчивость к техногенному воздействию и разработать меры по выбору видового состава и планировке пространственной структуры вновь создаваемых посадок, уходу за ними. Экологическая устойчивость – это способность экосистемы сохранять свою структуру и функциональные особенности при воздействии внешних (и внутренних для глобальных систем) факторов (Реймерс, 1990). Под устойчивостью к техногенному воздействию нами понимается способность насаждений урбанизированных территорий, находящихся под воздействием техногенного загрязнения, длительно противостоять негативным факторам окружающей среды, сохраняя свои свойства и функции, долговечность и декоративность на протяжении продолжительного времени.

В литературе приведены различные методы оценки состояния древесных насаждений: по

данным измерения таксационных показателей дерева, его архитектоники, морфологических параметров побегов и листы и биохимических показателей кроны (Gao et al., 2017; Методы..., 2002; Артемьев, 2003; Авдеева, Кривоносенко, 2013; Шевелина и др., 2016 и др.). Между тем качественная комплексная визуальная оценка в отличие от них позволяла бы легко провести мониторинг состояния древесных растений (одиночных и в составе насаждений) на больших территориях и в довольно короткие сроки без значительных материальных затрат. Однако большинство существующих визуальных методик разработано либо для оценки успешности интродукции древесных растений и их декоративных свойств, либо для проведения лесопатологического или предпроектного анализа существующих насаждений на урбанизированных территориях (Лапин, Сиднева, 1973; Николаевский, 2002; Бабич и др., 2008; Пирогова, 2017 и др.). Так, например, в методике оценки успешности интродукции (Лапин, Сиднева, 1973) учитываются преимущественно показатели зимостойкости (обмерзание годичных побегов, побегообразовательная способность, способность сохранять присущую виду жизненную форму). В основе оценки адаптационных свойств древесных растений в городской среде в монографии Н. А. Бабича с соавт. (2008) за основу оценки принимают такие параметры, как одревеснение побегов к зиме, зимостойкость, морозоустойчивость и др. В работе исследователей Центрального сибирского ботанического сада СО РАН г. Новосибирска (Беланова и др., 2016) для оценки жизненного состояния лиственных деревьев в городских насаждениях использовалась методика В. С. Николаевского с соавт. (1999): учитывались количество живых ветвей в кроне, степень облиственности крон и количество поврежденных листьев.

В настоящее время в научной литературе и нормативных документах нет комплексной методики, основанной на диагностических признаках состояния деревьев, которые в городской среде зачастую являются индикаторами техногенного загрязнения и антропогенного воздействия (например, химические ожоги листьев, задирь коры и др.).

Цель данной работы – разработать визуальную комплексную балльную биоиндикационную методику оценки устойчивости древесных растений к техногенному загрязнению и антропогенному воздействию на урбанизированных территориях, а также апробировать ее на представителях видов древесных растений,

произрастающих в условиях техногенного загрязнения различного состава и интенсивности Красноярска.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Предлагаемая методика оценки устойчивости древесных растений к техногенному загрязнению и антропогенному воздействию базируется на следующих восьми показателях: симметричность кроны, повреждения ствола, состояние коры, состояние ветвей, плотность кроны, преждевременное пожелтение хвои или листьев, наличие химических ожогов хвои или листьев, а также поражений хвои или листьев вредителями и патогенами. Этот широкий набор показателей позволяет дать полную диагностику древесных растений в антропогенно измененной среде по сравнению с существующими методиками и визуально выявить широкий спектр воздействия неблагоприятных факторов на ствол, крону и ассимилирующий аппарат дерева.

Каждый показатель оценивался по пятибалльной трехступенчатой шкале, где 5 баллов – наивысшая оценка, 3 балла – средняя, 1 балл – наименьшая. Рассчитывалось среднее арифметическое значение показателя. Средние значения в баллах для всех восьми показателей суммируются. Полученное значение используется как интегральная характеристика устойчивости насаждений.

Апробация разработанной методики проводилась на территории Красноярска и его пригорода. Климат резко континентальный. Средняя годовая температура воздуха 0.55 °С, средняя температура января –16.7 °С, июля +18.6 °С. За год выпадает в среднем 372 мм осадков. Среднегодовая относительная влажность воздуха 69 %.

Город расположен на стыке трех геоморфологических районов: долины Енисея, прилегающих к ней плато и предгорий Восточного Саяна. Основная часть города находится в долине р. Енисей. В долине выделяются пойма и девять надпойменных террас, не имеющих повсеместного распространения в городе. Террасы левобережной части Красноярска ограничены плато. Долину на правом берегу окаймляют предгорья Восточного Саяна. Преобладают юго-западные ветра (Швер, Герасимова, 1982). В связи с особенностями рельефа, ветрового режима и типа архитектурной застройки степень техногенного загрязнения может варьировать от незначительной до очень высокой. Средний по Красноярску (2017 г.) индекс загрязнения атмосферы превы-

шает 14, что соответствует высокому и очень высокому уровню загрязнения (Государственный доклад..., 2018). К сожалению, современные количественные данные по загрязнению отдельных районов Красноярска отсутствуют в открытом доступе. Тем не менее, используя опубликованную ранее информацию (Скрипальщикова и др., 2009; Корректировка..., 2012; Хлебопрос и др., 2012; Государственный доклад..., 2018), личные наблюдения и общие сведения, мы выделили четыре резко различающиеся экологические зоны на территории города и пригорода: с очень высоким, высоким, средним и незначительным загрязнением. В этих зонах выбрано 6 объектов озеленения, в которых заложено 6 пробных площадок (ПП).

ПП с очень высоким уровнем техногенного загрязнения (промышленные выбросы) «КрАЗ», «КрасТЭЦ» находятся в зоне влияния предприятий цветной металлургии (ПП «КрАЗ»), химической промышленности и теплоэнергетического комплекса (ПП «КрасТЭЦ») в восточной (наветренной) части города. На ПП «КрАЗ» основными компонентами загрязнения атмосферы являются химические вещества, входящие в состав выбросов предприятий цветной металлургии: фтористые соединения, бенз(а)пирен, СО, соединения кальция, магния, серы, пылевые частицы (Kalugina et al., 2017). На ПП «КрасТЭЦ» в состав загрязнений атмосферы входят пропеннитрил, альдегиды, бутадиев, сероводород, формальдегид, СО, NO, NO₂, SO₂, сажа (СИБУР, 2019).

ПП «Центр» характеризуется высоким уровнем загрязнения от интенсивного движения автотранспорта, расположена в центре города с большой плотностью населения, в низине, где скапливаются и слабо рассеиваются загрязняющие атмосферу вещества. Основным источником загрязнений являются СО, NO, NO₂, SO₂, бенз(а)пирен, тяжелые металлы.

ПП «Березовка» расположена в пригороде Красноярска и находится в зоне суммарного воздействия промышленных выбросов предприятий (ПП «КрАЗ» и «КрасТЭЦ») и характеризуется средним уровнем техногенного загрязнения.

В качестве контроля использованы искусственные насаждения, произрастающие на ПП «Ветлужанка» и «Академгородок», заложенные в экологически благоприятных условиях с незначительным техногенным загрязнением (условно чистые ПП). Они находятся на западной окраине города (с подветренной стороны),

вдали от промышленных предприятий и крупных котельных. Техногенное загрязнение на них обусловлено автомобильным движением средней интенсивности.

Апробация методики проводилась в искусственных насаждениях на представителях 8 видов древесных растений, часто используемых в озеленении сибирских городов (Встовская, Коропачинский, 2003): сосне обыкновенной *Pinus sylvestris* L. (1), ели колючей *Picea pungens* Engelm. (2) березе повислой *Betula pendula* Roth (3), ильме (вязе) приземистом *Ulmus pumila* L. (4), тополе бальзамическом *Populus balsamifera* L. (5), рябине обыкновенной *Sorbus aucuparia* L. (6), черемухе Маака *Padus maackii* Rupr. (7), яблоне ягодной *Malus baccata* (L.) Borkh. (8) (в скобках указан порядковый номер вида, используемый далее в тексте). Видовой состав на ПП несколько различается. На ПП «Ветлужанка» и «КрасТЭЦ» насаждения представлены видами 2–8 из перечисленного списка, на ПП «Центр», «Академгородок» и «КрАЗ» – видами 1–8, на ПП «Березовка» – видами 3 и 8.

На каждой ПП отобрано по 10 деревьев каждого вида. Чтобы исключить влияние подземных коммуникаций, выбор деревьев проводился в соответствии с инженерно-топографическими планами города. На ПП «КрАЗ», «КрасТЭЦ» и «Березовка» исследовали деревья на расстоянии более 20 м, а на ПП «Ветлужанка» и «Академго-

родок» – на расстоянии более 500 м от крупных магистралей, чтобы по возможности нивелировать влияние выбросов автотранспорта. Для выявления влияния автотранспорта на ПП «Центр» деревья отбирали на расстоянии не более 20 м от крупных магистралей.

В пределах одной ПП представители одного и того же вида имели одинаковый класс возраста и примерно одинаковые (по визуальной оценке) морфометрические показатели.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ



Разработанная методика по комплексной балльной биоиндикационной оценке устойчивости древесных растений к техногенному загрязнению и антропогенной нагрузке на урбанизированных территориях на основе восьми показателей представлена в табл. 1 и 2.

Степень устойчивости древесного растения или их совокупности к техногенному загрязнению и антропогенному воздействию предлагается определять по сумме средних значений в баллах всех восьми показателей в соответствии с табл. 2. Минимальное значение суммарного балла может составлять 8, а максимальное – 40. Этот диапазон разделен на 5 степеней устойчивости, которые соответствуют заметному ухудшению состояния дерева по одному показателю или небольшому ухудшению по нескольким по-



Таблица 1. Показатели для комплексной биоиндикационной балльной оценки устойчивости древесных растений

№ п/п	Показатель	Фактическое состояние	Количество баллов
1	2	3	4
1	Симметричность кроны	Симметричная	5
		Небольшая асимметрия	3
		Сильная асимметрия	1
2	Повреждения ствола	Повреждений нет	5
		Морозобойные трещины	3
		Дупла и/или гнили (в том числе в сочетании с морозобойными трещинами)	1
3	Состояние коры	Не повреждена	5
		Повреждена или отсутствует менее чем на 50 % поверхности ствола	3
		Повреждена или отсутствует более чем на 50 % поверхности ствола	1
4	Состояние ветвей	Сухие в кроне отсутствуют	5
		Сухие до 30 % от объема кроны	3
		Сухие более 30 % от объема кроны	1

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
5	Плотность кроны	Характерная для вида	5
		Снижена (рис. 1)	3
6	Преждевременное пожелтение хвои или листьев	Значительно снижена	1
		В середине вегетационного периода отсутствует	5
		Наблюдается у части кроны	3
		Наблюдается у кроны полностью (рис. 2)	1
			
			

Окончание табл. 1

1	2	3	4
7	Наличие химических ожогов хвои или листьев (хлороз, некроз)	Отсутствуют	5
		Повреждено до 30 % площади листовой пластины (рис. 3)	3
			
		Повреждено более 30 % площади листовой пластины	1
8	Наличие поражений хвои или листвы вредителями и патогенами	Отсутствуют	5
		Незначительные или слабые (до 30 % кроны)	3
		Значительные (более 30 % кроны) (рис. 4)	1
			

казателям (см. табл. 2). При суммарной оценке 26 баллов и ниже степень устойчивости древесных растений характеризуется как очень низкая и дальнейшее разделение данного диапазона на интервалы не имеет практического смысла.

Апробация разработанной методики проводилась в мае–сентябре 2018 г. на территории

Красноярска и его пригорода в четырех резко различающихся экологических зонах с очень высоким, высоким, средним и незначительным загрязнением, на 6 объектах озеленения, на представителях 8 видов древесных растений, часто используемых в озеленении сибирских городов (табл. 3).

Таблица 2. Характеристика устойчивости растений к техногенному загрязнению

Суммарный балл	Степень устойчивости
38–40	Высокая
35–37	Средняя
31–34	Пониженная
27–30	Низкая
8–26	Очень низкая

Таблица 3. Результаты балльной оценки устойчивости для 8 видов древесных растений (Красноярск и пригород)

Показатель	Пробная площадка					
	«Академ-городок»	«Ветлужанка»	«Центр»	«КрАЗ»	«КрасТЭЦ»	«Березовка»
1	2	3	4	5	6	7
<i>Сосна обыкновенная</i>						
Симметричность кроны	5	–	4	4	–	–
Повреждения ствола	5	–	5	5	–	–
Состояние коры	5	–	5	5	–	–
Состояние ветвей	5	–	5	4	–	–
Плотность кроны	5	–	4	4	–	–
Преждевременное пожелтение хвои или листьев	5	–	3	4	–	–
Наличие химических ожогов хвои или листьев	5	–	3	3	–	–
Наличие поражений хвои или листвы вредителями и патогенами	5	–	5	3	–	–
<i>Суммарный балл</i>	<i>40</i>	<i>–</i>	<i>34</i>	<i>32</i>	<i>–</i>	<i>–</i>
<i>Ель колючая</i>						
Симметричность кроны	5	5	5	5	5	–
Повреждения ствола	5	5	5	5	5	–
Состояние коры	5	5	5	5	5	–
Состояние ветвей	5	5	5	4	3	–
Плотность кроны	5	5	5	5	5	–
Преждевременное пожелтение хвои или листьев	5	5	5	4	5	–
Наличие химических ожогов хвои или листьев	5	5	4	4	5	–
Наличие поражений хвои или листвы вредителями и патогенами	3	4	5	4	4	–
<i>Суммарный балл</i>	<i>38</i>	<i>39</i>	<i>39</i>	<i>36</i>	<i>37</i>	<i>–</i>
<i>Береза повислая</i>						
Симметричность кроны	5	5	5	5	5	5
Повреждения ствола	5	5	5	5	5	5
Состояние коры	5	5	5	5	5	5
Состояние ветвей	5	4	5	4	3	3
Плотность кроны	5	5	5	5	5	4
Преждевременное пожелтение хвои или листьев	5	5	5	5	5	5
Наличие химических ожогов хвои или листьев	5	5	4	5	5	4
Наличие поражений хвои или листвы вредителями и патогенами	4	3	3	4	3	3
<i>Суммарный балл</i>	<i>39</i>	<i>37</i>	<i>37</i>	<i>38</i>	<i>36</i>	<i>34</i>

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
	<i>Вяз приземистый</i>					
Симметричность кроны	5	4	4	5	5	–
Повреждения ствола	5	4	5	5	5	–
Состояние коры	5	5	5	5	4	–
Состояние ветвей	3	3	3	5	5	–
Плотность кроны	5	5	4	5	5	–
Преждевременное пожелтение хвои или листьев	5	5	4	3	5	–
Наличие химических ожогов хвои или листьев	5	5	5	2	5	–
Наличие поражений хвои или листьев вредителями и патогенами	3	2	5	5	4	–
<i>Суммарный балл</i>	36	33	35	35	38	–
	<i>Тополь бальзамический</i>					
Симметричность кроны	5	4	5	4	5	–
Повреждения ствола	5	5	5	5	5	–
Состояние коры	5	5	5	5	5	–
Состояние ветвей	5	4	3	3	3	–
Плотность кроны	5	4	5	5	5	–
Преждевременное пожелтение хвои или листьев	5	3	5	3	5	–
Наличие химических ожогов хвои или листьев	5	5	5	5	5	–
Наличие поражений хвои или листьев вредителями и патогенами	2	3	4	5	1	–
<i>Суммарный балл</i>	37	33	37	35	34	–
	<i>Рябина обыкновенная</i>					
Симметричность кроны	5	5	4	5	5	–
Повреждения ствола	5	4	4	5	5	–
Состояние коры	5	5	5	5	5	–
Состояние ветвей	5	4	4	3	4	–
Плотность кроны	5	5	5	5	5	–
Преждевременное пожелтение хвои или листьев	5	5	4	5	5	–
Наличие химических ожогов хвои или листьев	5	5	4	5	5	–
Наличие поражений хвои или листьев вредителями и патогенами	4	5	4	5	3	–
<i>Суммарный балл</i>	39	38	34	38	37	–
	<i>Черемуха Маака</i>					
Симметричность кроны	5	5	5	5	5	–
Повреждения ствола	5	4	5	5	5	–
Состояние коры	5	5	5	5	4	–
Состояние ветвей	4	5	4	3	4	–
Плотность кроны	5	5	5	5	3	–
Преждевременное пожелтение хвои или листьев	5	5	5	5	5	–
Наличие химических ожогов хвои или листьев	5	5	5	5	5	–
Наличие поражений хвои или листьев вредителями и патогенами	4	5	4	5	5	–
<i>Суммарный балл</i>	38	39	38	38	35	–

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
	<i>Яблоня ягодная</i>					
Симметричность кроны	5	4	5	5	5	5
Повреждения ствола	5	5	5	5	5	5
Состояние коры	5	5	5	5	5	5
Состояние ветвей	4	4	4	3	3	4
Плотность кроны	5	5	5	5	5	5
Преждевременное пожелтение хвои или листьев	5	5	5	4	5	5
Наличие химических ожогов хвои или листьев	5	5	4	3	5	5
Наличие поражений хвои или листьев вредителями и патогенами	4	4	4	4	3	4
<i>Суммарный балл</i>	38	37	37	34	36	38

Сосна обыкновенная на условно чистой ПП «Академгородок» характеризуется наибольшим суммарным показателем ее устойчивости – 40 баллов. Пониженная устойчивость этого вида проявилась на ПП «Центр» и «КрАЗ» (34 и 32 балла) – очевидно, что это результат хронического воздействия токсичных выбросов автотранспорта и предприятий цветной металлургии (см. табл. 3). Ранее исследователями показано, что сосна обыкновенная плохо переносит загрязнение атмосферы токсикантами (Булыгин, Ярмишко, 2003), что подтверждает результаты оценки устойчивости сосны по нашей методике.

Ель колючая имеет средний уровень устойчивости на ПП с очень высоким уровнем загрязнения воздуха (ПП «КрАЗ» и «КрасТЭЦ»), однако на ПП «Центр», несмотря на интенсивное загрязнение выбросами автотранспорта, а также на условно чистых ПП «Ветлужанка» и «Академгородок» устойчивость этого вида высокая. Хорошее состояние вида в центре города может быть обусловлено своевременными и эффективными мерами ухода (в соответствии с п. 6.3 Решения Красноярского городского Совета депутатов от 25 июня 2013 г. № В-378 «Об утверждении правил благоустройства территории города Красноярска», 2013). На всех исследованных ПП, за исключением «Центр», у деревьев ели колючей наблюдались признаки поражения энтомофагами (как правило, из семейства Хермесы Adelgidae), а на ПП «КрАЗ» и «КрасТЭЦ» – химические ожоги хвои и снижение плотности кроны (см. табл. 3).

Береза повислая характеризуется высокой и средней устойчивостью на условно чистой ПП «Ветлужанка» (39 баллов) и «Академгородок»

(37 баллов). Несмотря на наличие суховершинности на нескольких экземплярах, а также небольшие поражения листья энтомофагами, на ПП «КрАЗ» береза также характеризуется высокой устойчивостью (38 баллов). В центре Красноярска (ПП «Центр») устойчивость березы характеризуется как средняя; на деревьях зафиксированы признаки проведения регулярных санитарных обрезок. Устойчивость вида на сильно загрязненной ПП «КрасТЭЦ» оценена как средняя (36 баллов), а на ПП «Березовка» с более низким уровнем техногенной нагрузки – как пониженная (34 балла). По нашему мнению, на ПП «Березовка» на устойчивость вида влияют два основных фактора: нарушение норматива посадки саженцев (1.5–2 м между растениями в ряду при норме 3–5 м), приведшее к обострению конкуренции за свет и питание, и техногенное загрязнение.

Вяз приземистый на ПП «Центр» и «КрАЗ» характеризуется средней устойчивостью (35 баллов), тогда как на ПП «КрасТЭЦ» – высокой (38 баллов). Необходимо отметить, что на участках с очень высоким уровнем загрязнения заселенность вяза приземистого энтомофагами ниже, чем на условно чистых ПП «Ветлужанка» и «Академгородок». Выявленная закономерность согласуется с результатами энтомологических исследований А. В. Селиховкина (2013) и может быть результатом воздействия токсикантов на жизнедеятельность насекомых.

Известно, что тополь бальзамический в г. Красноярске активно поражается скрытоживущими насекомыми (Чернявский и др., 2018). Наши исследования подтверждают ранее установленную другими исследователями характеристику тополя бальзамического как вида,

устойчивого к техногенному загрязнению. Нами выявлена средняя и низкая степень устойчивости тополя на условно чистых ПП «Ветлужанка» и «Академгородок» (37 и 33 балла соответственно) и низкая на ПП «КрасТЭЦ» (34 балла) с очень высоким уровнем загрязнения, что обусловлено значительным поражением листвы. В то же время на ПП «КрАЗ» степень устойчивости вида средняя (35 баллов): энтомофиты и патогены на экземплярах не выявлены, однако в связи с очень высоким уровнем загрязнения изменился окрас листвы и усох большой объем ветвей в кроне.

Рябина обыкновенная на ПП «КрасТЭЦ» с очень высоким уровнем промышленного загрязнения и «Центр» с высоким уровнем загрязнения от автотранспорта характеризуется средней и низкой устойчивостью (соответственно 37 и 34 балла), а в условно чистых районах – высокой (39 и 38 баллов).

Черемуха Маака на всех ПП, кроме «КрасТЭЦ», характеризуется высокой устойчивостью (38–39 баллов), а на ПП «КрасТЭЦ» – средней (35 баллов). Эти результаты согласуются с исследованиями В. С. Николаевского (1979), который показал, что черемуха Маака характеризуется средней устойчивостью к кислым газам.

У *яблони ягодной* степень устойчивости варьирует в зависимости от экологических условий места произрастания: пониженная наблюдалась на сильно загрязненной ПП «КрАЗ» (34 балла), средняя – на ПП «Академгородок», «Центр» и «КрасТЭЦ» (37, 37 и 36 баллов соответственно) и высокая – на ПП «Ветлужанка» и «Березовка» (по 38 баллов).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика комплексной балльной биоиндикационной оценки устойчивости древесных растений к техногенному загрязнению и антропогенной нагрузке на урбанизированных территориях на основе восьми показателей: симметричность кроны, повреждения ствола, состояние коры, состояние ветвей, плотность кроны, преждевременное пожелтение хвои или листьев, наличие химических ожогов хвои или листьев и поражений хвои или листьев вредителями и патогенами.

Апробация методики проведена в четырех резко различающихся экологических зонах с очень высоким, высоким, средним и незначительным загрязнением на представителях вось-

ми видов древесных растений, часто используемых в озеленении сибирских городов: сосне обыкновенной *Pinus sylvestris* L., ели колючей *Picea pungens* Engelm., березе повислой *Betula pendula* Roth, вязе приземистом *Ulmus pumila* L., тополе бальзамическом *Populus balsamifera* L., рябине обыкновенной *Sorbus aucuparia* L., черемухе Маака *Padus maackii* Rupr., яблоне ягодной *Malus baccata* (L.) Borkh.

Правильность оценок устойчивости по разработанной методике подтверждают результаты, полученные ранее исследователями на сосне обыкновенной (Булыгин, Ярмишко, 2003), вязе приземистом (Селиховкин, 2013), тополе бальзамическом (Чернявский и др., 2018) и черемухе Маака (Николаевский, 1979).

Методику комплексной балльной биоиндикационной оценки устойчивости древесных растений к техногенному загрязнению и антропогенной нагрузке на урбанизированных территориях можно рекомендовать для применения в мониторинге экологического состояния отдельных деревьев и древесных насаждений в промышленных городах Сибири.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авдеева Е. В., Кривоносенко О. Г. Архитектоника лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) в урбанизированной среде // Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. XXXI. № 3–4. С. 7–17.
- Артемов О. С. Методы таксации городских насаждений. Красноярск: Сиб. гос. техн. ун-т, 2003. 100 с.
- Бабич Н. А., Залывская О. С., Травникова Г. И. Интродукция в зеленом строительстве северных городов. Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2008. 144 с.
- Беланова А. П., Банаев М. А., Томошевич Л. Н., Чиндяева Л. Н. Состояние древесных растений в разных экологических зонах сибирского города // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2016. Т. 18. № 2(2). С. 292–296.
- Булыгин Н. Е., Ярмишко В. Т. Дендрология: учебник. 2-е изд. М.: Моск. гос. ун-т леса, 2003. 528 с.
- Васенев С. Л. Зависимость «качество и уровень жизни – антропогенная нагрузка на социоприродную среду» как индикатор эффективности экономического развития // Наука и бизнес: проблемы и перспективы развития предпринимательской деятельности: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., 25 октября 2016 г., Шахты. Уфа: АЭТЕРНА, 2016. С. 35–37.
- Васильюк К. К., Костенко К. А., Лобанова И. И. Озеленение городов Приморского края. Владивосток: Изд-во ДВО АН СССР, 1987. 516 с.
- Встовская Т. Н., Короначинский И. Ю. Определитель местных и экзотических древесных растений Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 702 с.

- Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2017 году». Красноярск: ЦРМПиООС, 2018. 301 с.
- Калугина О. В., Шергина О. В., Михайлова Т. А. Оценка антропогенной нарушенности лесных биогеоценозов в городской среде (на примере г. Братска) // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2017. Т. 19. С. 48–67.
- Кирдянов А. В., Мыглан В. С., Пименов А. В., Кнорре А. А., Экарт А. К., Ваганов Е. А. Динамика усыхания лиственницы сибирской в зоне влияния техногенных эмиссий предприятий Норильского промышленного района // Сиб. экол. журн. 2014. № 6. С. 945–952.
- Корректировка сводного тома предельно допустимых выбросов для г. Красноярска. Том ПДВ. Т. I. Кн. 1. Пояснительная записка. Красноярск, 2012. 630 с. <http://www.krasecology.ru/About/PDV>
- Красинский Н. Н. Озеленение промплощадок дымоустойчивым ассортиментом. М.: Наука, 1950. 219 с.
- Кулагин Ю. З. Лесообразующие виды, техногенез и прогнозирование. М.: Наука, 1980. 113 с.
- Латин П. И., Сиднева С. В. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений // Опыт интродукции древесных растений. М.: Наука, 1973. С. 7–67.
- Лисотова Е. В., Сунцова Л. Н., Иниаков Е. М. Оценка жизненного состояния хвойных и лиственных древесных растений в урбанизированной среде города Красноярска // Хвойные бореальной зоны. 2018. Т. 36. № 6. С. 498–501.
- Мартыненко В. Б., Миркин Б. М., Широких П. С. Лесные экосистемы и урбанизация // Лесоведение. 2009. № 3. С. 77–78.
- Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИХимии СПб. гос. ун-та, 2002. 240 с.
- Мударисов Р. Г., Аринина А. В., Валиев М. Р. Антропогенная нагрузка крупных спортивных мероприятий на зеленые зоны города Казани // Наследие крупных спортивных событий как фактор социально-культурного и экономического развития региона: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., 28–29 ноября 2013 г., Казань. Казань: Поволж. ГАФКСиТ, 2013. С. 428–430.
- Никитин А. В. Доля озелененных территорий в границах Центрального и Советского районов города Красноярска // Научное сообщество студентов XXI столетия. Естественные науки: сб. ст. по материалам XLII Междунар. студ. науч.-практ. конф. 2016. № 6 (41). С. 67–70.
- Николаевский В. С. Биологические проблемы газостойчивости растений. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. 280 с.
- Николаевский В. С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. Пушкино: ВНИИЛМ, 2002. 220 с.
- Николаевский В. С., Николаевская В. Г., Козлова Е. А. Методы оценки состояния древесных растений и степени влияния на них неблагоприятных факторов // Лесн. вестн. 1999. № 2. С. 76–79.
- Пирогова К. И. К вопросу оценки декоративности древесно-кустарниковых растений // Вестн. ландшафт. архитект. 2017. № 12. С. 37–40.
- Протопопова Е. Н. Рекомендации по озеленению городов и рабочих поселков Средней Сибири. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1972. 148 с.
- Реймерс Н. Ф. Популярный биологический словарь. М.: Наука, 1990. 544 с.
- Решение Красноярского городского Совета депутатов от 25 июня 2013 г. № В-378 «Об утверждении правил благоустройства территории города Красноярска». Красноярск: Городской совет депутатов, 2013.
- Рунова Е. М., Шиверских Ф. Н. Комплексная оценка состояния загрязнения атмосферы по результатам биоиндикации сосны обыкновенной // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2018. № 51. С. 155–157.
- Селиховкин А. В. Ответные реакции насекомых-дендрофагов на промышленное загрязнение воздуха // Биосфера. 2013. Т. 5. № 1. С. 47–76.
- СИБУР, 2019. <https://www.sibur.ru>
- Скрипальщикова Л. Н., Татаринцев А. И., Зубарева О. Н., Перевозникова В. Д., Стасова В. В., Грешилова Н. В. Экологическое состояние пригородных лесов Красноярска. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2009. 179 с.
- Тутыгин Г. С., Петрик В. В., Поташева Ю. И. Воздействие автотранспортного загрязнения на придорожные сосновые насаждения. Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2009. 172 с.
- Хлебопрос Р. Г., Тасейко О. В., Иванова Ю. Д., Михайлюта С. В. Красноярск. Экологические очерки. Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2012. 130 с.
- Чернявский Е. А., Скворцова М. В., Тарасова О. В. Тополевые насаждения, скрытоживущие насекомые-филлофаги, повреждение листьев насекомыми // Принципы экол. 2018. № 1(26). С. 113–119.
- Швер Ц. А., Герасимова А. С. Климат Красноярска. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 231 с.
- Шевелина И. В., Метелев Д. В., Нагимов З. Я. Динамика лесоводственно-таксационных показателей насаждений лесопарков города Екатеринбурга // Усп. совр. естествознания. 2016. № 6. С. 125–131.
- Шергина О. В., Михайлова Т. А. Состояние древесных растений и почвенного покрова парковых и лесопарковых зон г. Иркутска. Иркутск: Ин-т географии СО РАН, 2007. 200 с.
- Gao H., Dong L., Li F. Modeling variation in crown profile with tree status and cardinal directions for planted *Larix olgensis* Henry trees in Northeast China // Forests. 2017. № 8 (5). P. 139–144.
- Kalugina O. V., Mikhailova T. A., Shergina O. V. Pinus sylvestris as a bio-indicator of territory pollution from aluminum smelter emissions // Environ. Sci. Pollut. Res. 2017. № 24 (11). P. 10 279–10 291.

METHODS OF COMPLEX BIOINDICATIVE ASSESSMENT OF LIFE STATE PATTERNS OF WOODY PLANTS UNDER INDUSTRIAL POLLUTIONS ON URBANIZED TERRITORIES

Yu. V. Klad'ko, L. N. Skripal'shchikova

Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Science, Siberian Branch
V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science, Siberian Branch
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

E-mail: kladaJ@mail.ru, lara@ksc.krasn.ru

A method of complex bioindicative assessment of life state pattern and sustainability of woody plants in greening growing under industrial pollution in urbanized areas has been developed. A wider set of indicators is used for the assessment in comparison with the well-known methods that point clearly to industrial air pollution impact: the symmetry of the crown, outer damage of the trunk and outer features of the bark and branches, crown density, premature yellowing of foliage, evidence of chemical burns on leaves and needles, evidence of damage to needles or leaves by insects and pathogens. The proposed method was tested on woody plants belonging to 8 species: Scotch pine *Pinus sylvestris* L., Colorado spruce *Picea pungens* Engelm., silver birch *Betula pendula* Roth, Siberian elm *Ulmus pumila* L., balsam poplar *Populus balsamifera* L., mountain ash *Sorbus aucuparia* L., Maack cherri *Padus maackii* Rupr., and dwarf apple *Malus baccata* (L.) Borkh., growing in greening of the city of Krasnoyarsk under conditions of technogenic pollution of various composition and intensity. Using the developed methodology, it was found that Scotch pine, silver birch, the Siberian elm and mountain ash were least tolerant to pollution from heavy traffic in comparison to the other species. Scotch pine, Colorado spruce, silver birch, Siberian elm, mountain ash and dwarf apple occurred sensitive to specific emissions from industrial enterprises, and these species might be used as indicators of industrial pollution level caused by specific sources. Balsam poplar and Maack cherri, according to the bioindication rating scale were less sensitive to industrial and vehicle pollution – these tree species can be used to create greenings in heavily polluted areas and industrial city districts and sanitary protection zones around industrial enterprises. The developed method can be recommended for practical application in the field of green construction and environmental monitoring in urbanized areas.

Keywords: *urban plantations, ecological zones, technogenic pollution, woody plants, stability.*

How to cite: *Klad'ko Yu. V., Skripal'shchikova L. N. Methods of complex bioindicative assessment of life state patterns of woody plants under industrial pollutions on urbanized territories // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2019. N. 6. P. 27–38 (in Russian with English abstract).*