

УДК 581.522.4+582.477

*Е.А. Тишкина, Л.А. Сёмкина***ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ *JUNIPERUS COMMUNIS* L. НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ**

Интенсивная эксплуатация лесных ресурсов Урала в течение двух последних столетий привела к значительному сокращению ареала можжевельника обыкновенного. Цель исследования – оценка устойчивости ценопопуляций *Juniperus communis* L. на Среднем Урале на основе морфологических и физиологических параметров вида. Обследовано три ценопопуляции можжевельника обыкновенного в Свердловской области вблизи крупных промышленных городов с различным уровнем рекреации и загрязнения (Баронская, Староуткинская и Нижне-тагильская). Определена экологическая и эффективная плотность особей *Juniperus communis* в изученных четырех типах леса, а также по пятибалльной шкале установлены категории жизненного состояния. Особи Баронской ценопопуляции, находящиеся в самых благоприятных условиях, относятся к I категории, повреждение составляет от 10 до 20 %, в других ценопопуляциях повреждения до 50 %. Кроме морфологических показателей оценена устойчивость ценопопуляций по комплексу накопления фотосинтетических пигментов и потенциальной эффективности фотосинтеза. По этим признакам дифференцированы изученные ценопопуляции, достоверно различающиеся по уровню рекреационных воздействий.

*Ключевые слова:* *Juniperus communis*, ценопопуляция, хлорофиллы, каротиноиды, категория жизненного состояния, эффективность фотосинтеза.

Интенсивная эксплуатация лесных ресурсов Урала в течение двух последних столетий привела к значительному сокращению ареала можжевельника обыкновенного. На Среднем Урале данный вид сохранился в локальных изолированных местообитаниях. Тем не менее в северных районах Свердловской области можжевельник обыкновенный занимает площадь свыше 100 тыс. га. По уточненным данным, можжевельник обыкновенный во всей Свердловской области занимает площадь 109 тыс. гектаров. В качестве подлеска он встречается в 132 сообществах, что свидетельствует о большой пластичности этого вида.

Можжевельник обыкновенный имеет обширный ареал, простирающийся через всю Северную Евразию, от Северной Европы до Восточной Сибири, кроме лесостепи на юге и тундры на Крайнем Севере, и относится к немногим подлесочным видам, способным к устойчивому самоподдержанию своих ценопопуляций в благоприятных условиях.

**Материал и методы исследования**

Объекты исследований – фрагменты ценопопуляций можжевельника обыкновенного в смешанных темно- и светлохвойных горно-лесных экосистемах природного парка «Река Чусовая» и смешанных насаждениях (окрестности г. Нижнего Тагила Ленинского района) Свердловской области (табл. 1).

При характеристике местообитаний можжевельника нами определены тип леса, полнота древостоя, экологическая плотность фрагмента ценопопуляции. Эффективная плотность рассчитывалась по Л.А. Животовскому [1] как произведение индекса эффективности на ее общую плотность. У каждой особи можжевельника проводили замеры высоты, диаметра кроны в двух взаимно перпендикулярных направлениях, диаметра их корневой шейки и угла отхождения боковых ветвей. Для определения объема кроны использовали формулу объема пирамиды [2].

Оценка урожайности можжевельника проведена по шкале В.Г. Каппера [3] и А.Н. Формозова [4] с учетом доли женских особей генеративного возраста. Категории жизненного состояния каждой диагностируемой особи можжевельника оценивались визуально с помощью индекса по пятибалльной шкале В.А. Алексеева [5]:

- I – здоровые, показатель жизненного состояния 80–100 %;
- II – слабо повреждённые (умеренно ослабленные) – 50–79 %;
- III – сильно повреждённые (сильно ослабленные) – 20–49 %;
- IV – усыхающие (отмирающие, полностью разрушенные) – менее 20 %;
- V – сухостой – 0 %.

Таблица 1

## Характеристика местообитаний ценопопуляций можжевельника обыкновенного

Номер фрагмента ценопопуляции	Тип леса	Высота над уровнем моря, м	Экспозиция склона	Географические координаты (с.ш., в. д.)	Древостой				Фрагменты ценопопуляции на 0,09 га							
									Плотность		категория жизненного состояния	количество декоративных форм	соотношение мужских и женских особей, %		урожайность, балл	
					экологическая	эффективная	жен.	муж.								
									состав	высота, м			диаметр, см	полнота		
Баронская ценопопуляция																
1	Сосняк ягодниковый	225	Северная	57°37'48" 59°03'24"	9С1Б	18	25	0,8	57	25,1	I	5	7	93	1	
2	Сосняк ягодниковый	253	Северная	57°37'52" 59°04'04"	9С1Б	20	30	0,8	57	23,9	I	4	17	83	1	
Староуткинская ценопопуляция																
3	Сосняк-ельник травяной злаковый	313	Западная	57°10'51" 59°19'54"	5С5Б+ Л	25	30	0,7	42	30,2	II	6	40	60	1	
4	Ельник травяной злаковый	307	Западная	57°11'13" 59°20'54"	3Е2П2 СЗБ	25	35	0,7	49	39,2	II	8	60	40	2	
Нижнетагильская ценопопуляция																
5	Ельник-сосняк зелено- мошниково-ягодниковый	323	Северо- западная	57°52'46" 59°53'13"	8Е2С	10	10	0,7	37	31,8	II	7	67	33	2	
6	Ельник-сосняк зелено- мошниково-ягодниковый	337	Юго- восточная	57°52'42" 59°53'32"	8Е2Е	15	30	0,6	50	45,5	II	7	47	53	3	

Кроме морфологических особенностей для оценки устойчивости ценопопуляций можжевельника обыкновенного использовали показатель накопления в хвое фотосинтетических пигментов. Для определения количественного состава пигментов брали не менее трех навесок хвои 2-летнего возраста с южной стороны кроны на высоте 1,3 м у пяти экземпляров.

Определение хлорофиллов  $a/b$  и каротиноидов проводили прямым спектрофотометрированием на спектрофотометре Odyssey DR/2500 (НАСН, США) в период с июля по декабрь 2015 года. Экстрагирование пигментов проводили 100 %-ным ацетоном. Навеску (0,5 г) свежего материала тщательно измельчали в фарфоровой ступке со стеклянным порошком и 5 мл ацетона с целью получения усредненного образца. Для нейтрализации органических кислот вносилось небольшое количество  $\text{CaCO}_3$ . Спектрофотометрирование проводили в кювете с толщиной слоя 1 см при длине волны 644, 662 и 440 нм в трех повторностях.

Расчеты концентрации пигментов в вытяжке проводили по следующим формулам:

$$C_{\text{хл.а}} = 9,784 \times E_{662} - 0,990 \times E_{644} \text{ (мг/л);}$$

$$C_{\text{хл.б}} = 21,426 \times E_{644} - 4,650 \times E_{622} \text{ (мг/л);}$$

$$C_{\text{хл.а+хл.б}} = 5,134 \times E_{662} + 20,436 \times E_{644} \text{ (мг/л);}$$

$$C_{\text{кар.}} = 4,75 \times E_{440} - 0,226 \times C_{\text{хл(а+б)}}.$$

Содержание каждого пигмента (после расчета концентрации пигментов в вытяжке) с учетом объема экстракта и навески определяли по формуле:

$X = (C \times V) / (P \times 1000)$ , где  $X$  – содержание пигмента, мг/г сырого веса;  $C$  – концентрация пигмента мг/мл;  $V$  – объем экстракта, мл;  $P$  – навеска хвои, г.

Для характеристики эффективности фотосинтетического процесса в хвое растений и накопления биомассы, использовали показатель «потенциальной» продуктивности ( $P$ ) по Силкиной [6]:

$P = m \times C_{\text{хл а+хл б}}$ , где  $m$  – средняя масса хвоинки, мг;  $C_{\text{хл а+хл б}}$  – общее содержание хлорофиллов в хвоинке, мг/г

## Результаты и их обсуждение

Установлено, что плотность можжевельника обыкновенного варьирует от 37 в ельнике-сосняке зеленомошниково-ягодниковом Нижнетагильской ценопопуляции до 57 шт. в сосняке ягодниковом Баронской ценопопуляции.

Особи Баронской ценопопуляции можжевельника относятся к первой категории их жизненного состояния (с незначительным повреждением (10–20 %)), во всех остальных ценопопуляциях установлена вторая категория с умеренно ослабленными особями с повреждением 21–50 %. Преимущественно во всех фрагментах ценопопуляции можжевельника обыкновенного преобладают мужские особи – от 53 до 93 %. Исключением является два фрагмента Староуткинской и Нижнетагильской ценопопуляций (4, 5), где женские особи составляют от 60 до 67 %. Урожайность шишкоягод при этом низкая от 1 до 3 баллов. Максимальное количество декоративных форм можжевельника установлено в ельнике травяном злаковом Староуткинской ценопопуляции на высоте 307 м над уровнем моря. Отмечено следующее разнообразие декоративных форм особей можжевельника в подлеске: раскидистая, подушковидная, яйцевидная, колонновидная, конусообразная, булавовидная и эллиптическая.

Интенсивность и продуктивность фотосинтеза во многом зависит от количественных показателей пигментов. В связи с этим было проведено исследование накопления хлорофиллов и каротиноидов в хвое модельных экземпляров можжевельника обыкновенного, морфологические показатели которых приведены в табл. 2.

Установлено, что накопление общего фонда пигментов в Баронской ценопопуляции выше в сравнении со Староуткинской и Нижнетагильской ценопопуляциями (табл. 3). Самые низкие значения по пигментам зафиксированы в нарушенном местообитании Нижнетагильской ценопопуляции можжевельника (рис.). При снижении накопления хлорофилла  $a$  происходит увеличение доли хлорофилла  $b$  или каротиноидов, которые выполняют защитные функции, что является адаптивной реакцией ассимиляционного аппарата можжевельника на различные стрессы. Интенсивность фотосинтеза зависит не только от содержания хлорофилла  $a$  и хлорофилла  $b$ , но и от их соотношения в хлоропластах.

Соотношение хлорофилла  $a$  к хлорофиллу  $b$  колеблется от 0,96 в Баронской ценопопуляции до 1,54 в Нижнетагильской. Амплитуда распределения каротиноидов в различных ценопопуляциях установлена в низких пределах (0,51–0,56 мг/г сырого веса).

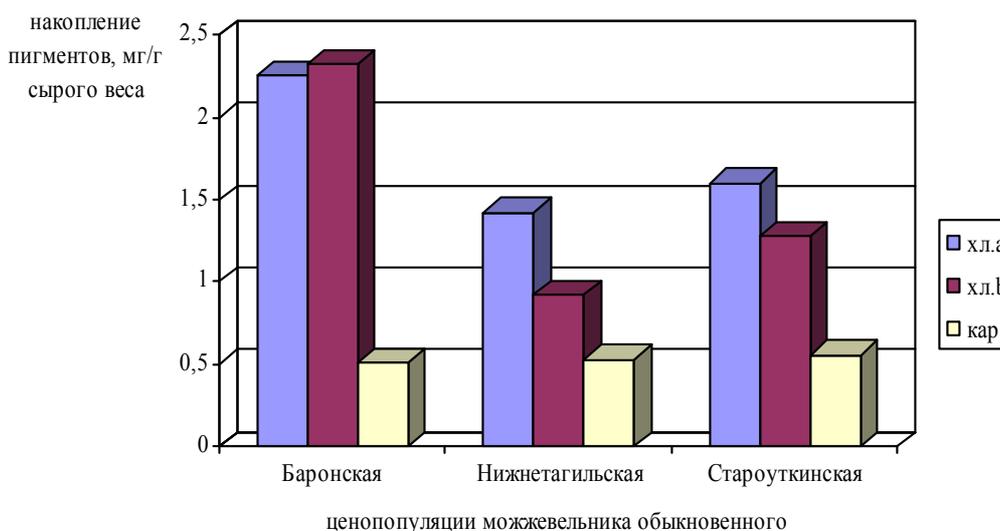


Рис. Содержание пигментов в хвое можжевельника обыкновенного

Таблица 2

**Морфологические показатели модельных особей можжевельника обыкновенного**

№ п/п	Высота, м	Диаметр корневой шейки, см	Угол отхождения ветвей, град	Площадь проекции кроны, м <sup>2</sup>	Объем кроны, м <sup>3</sup>	Длина хвои, мм		Средняя масса хвоинок, мг
						Ширина хвои, мм		
Баронская ценопопуляция								
1	0,75	0,89	60	0,04	0,01	$11,86 \pm 0,61$ $1,13 \pm 0,04$		7,8
2	0,77	2,53	90	0,56	0,14			
3	1,95	4,28	110	0,62	0,40			
4	1,24	2,21	100	0,19	0,08			
5	0,86	1,42	120	1,08	0,31			
Нижнетагильская ценопопуляция								
1	2,36	5,01	130	0,85	0,67	$9,05 \pm 0,4$ $1,11 \pm 0,04$		10
2	2,74	5,12	100	4,26	3,89			
3	2,16	3,26	95	1,07	0,77			
4	2,4	3,42	120	1,42	1,14			
5	2,19	4,82	120	0,93	0,68			
Староуткинская ценопопуляция								
1	2,24	3,22	160	0,36	0,27	$12,48 \pm 0,59$ $1,14 \pm 0,05$		9,8
2	1,38	3,22	110	0,22	0,10			
3	1,84	3,85	150	0,54	0,33			
4	2,15	4,9	150	1,41	1,01			
5	3,17	7,91	160	3,11	3,29			

**Заключение**

Накопление фотосинтетических пигментов является хорошим диагностическим показателем устойчивости ценопопуляций *Juniperus communis*, так как с увеличением антропогенной нагрузки на местообитания можжевельника обыкновенного снижается количественный состав пигментов почти в 1,4 раза в сравнении с ненарушенными участками можжевельника.

Для характеристики эффективности фотосинтеза в хвое растений была рассчитана потенциальная продуктивность, которая в Баронской ценопопуляции оказалась (34,87) значительно выше, чем Нижнетагильской (23,25). Благодаря этому показателю можно прогнозировать рост и развитие можжевельника обыкновенного.

Таблица 3

**Накопление хлорофиллов и каротиноидов в хвое и потенциальная продуктивность хвои можжевельника обыкновенного**

Содержание пигментов				Соотношение хлорофилла $a/b$	Потенциальная продуктивность, мг/г <sup>2</sup>
хл. $a$	хл. $b$	$a + b$	кар.		
Баронская ценопопуляция					
2,25 ± 0,2	2,32 ± 0,34	4,57 ± 0,85	0,51 ± 0,54	0,96	34,87 ± 1,34
Староуткинская ценопопуляция					
1,60 ± 0,15	1,28 ± 0,22	2,88 ± 0,37	0,56 ± 0,05	1,25	29,41 ± 5,92
Нижнетагильская ценопопуляция					
1,42 ± 0,18	0,92 ± 0,27	2,34 ± 0,45	0,53 ± 0,06	1,54	23,25 ± 4,73

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Животовский Л.А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений // Экология. 2001. № 1. С. 3-7.
2. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел: ВНИИСПК, 1999. 608 с.
3. Каппер О.Г. Хвойные породы. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1954. 304 с.
4. Формозов А.Н. Урожай кедровых орехов, налеты в Европу сибирской кедровки (*Nucifraga caryocatactes macrorhynchus* Brehm) и колебания численности у белки (*Sciurus vulgaris* L.) // Бюл. НИИ зоологии МГУ. 1933. С. 64-70.
5. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51-57.
6. Силкина О.В. Комплексная оценка эколого-физиологических параметров хвои *Abies sibirica* и *Picea abies* в процессе вегетации и ее фитопродуктивная активность: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Казань, 2006. 25 с.

Поступила в редакцию 10.02.16

*E.A. Tishkina, L.A. Semkina*

**THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC EFFECTS ON *JUNIPERUS COMMUNIS* L. COENOPOPULATION STABILITY IN THE MIDDLE URALS**

Intensive exploitation of forest resources in the Urals during the last 200 years last resulted in a significant decrease of *Juniperus communis* L. areal. The aim of the investigation was to estimate the stability of *Juniperus communis* L. coenopopulations in the Middle Urals on the basis of morphological and physiological parameters of the species. We investigated 3 *Juniperus communis* coenopopulations in the vicinity of large industrial cities with various recreation and pollution levels in Sverdlovsk region (Baronsk, Staroutkinsk and Nizhny Tagil). Ecological conditions and effective density of specimens were studied in 4 forest types. Besides, life condition categories were estimated on a 5-degree scale. Specimens from Baronsk coenopopulation, growing in the most favourable conditions, belong to the first category, as morphological and physiological indices of the species showed. Injuries made up 10–20 %, while in other populations they accounted for 50 %. In addition to morphological parameters, the coenopopulation stability was estimated by a complex of photosynthetic pigments and potential photosynthetic effectiveness. According to these indices we differentiated coenopopulations with significant distinctions in the levels of recreation impacts.

*Keywords:* *Juniperus communis*, coenopopulation, carotinoids, chlorophylls, life condition category, photosynthetic effectiveness.

## REFERENCE

1. Zhivotovskij L.A. [Developmental state, the effective density and classification of plant populations], *Ekologija*, 2001, no. 1, pp. 3-7 (in Russ.).
2. *Programma i metodika sortoizuchenija plodovyh, jagodnyh i orehoplodnyh kul'tur* [The program and the method Cultivar fruit, berry and nut crops], Orel: VNIISPК, 1999, 608 p. (in Russ.).
3. Kapper O.G. *Hvojnye porody* [Softwood], M.; L.: Goslesbumizdat, 1954, 304 p. (in Russ.).
4. Formozov A.N. [The harvest of pine nuts, raids into Europe Siberian nutcrackers (*Nucifraga caryocatactes macrorhynchus* Brehm) and the number of oscillations of a squirrel (*Sciurus vulgaris* L.)], *Bjul. NII zoologii MGU*, 1933, pp. 64-70 (in Russ.).

5. Alekseev V.A. [Diagnosis of the state of life of trees and forest stands], *Lesovedenie*, 1989, no. 4, pp. 51-57 (in Russ.).
6. Silkina O.V. [Integrated assessment of ecological and physiological parameters of needles *Abies sibirica* and *Picea abies* in the process of growing and its phytoproductive activity], Abstract of diss. Cand. biol. sci., Kazan, 2006, 25 p. (in Russ.).

Тишкина Елена Александровна,  
кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник  
E-mail: elena.mlob1@yandex.ru

Сёмкина Лидия Александровна,  
доктор биологических наук, зав. лабораторией экологии  
древесных растений  
E-mail: lidia.semkina@botgard.uran.ru

ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН»  
620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта 202а

Tischkina E.A.,  
Candidate of Agriculture, Researcher  
E-mail: elena.mlob1@yandex.ru

Semkina L.A.,  
Doctor of Biology, Head of laboratory  
of ecology of wood plants  
E-mail: lidia.semkina@botgard.uran.ru

Botanical Garden of Ural Branch  
of Russian Academy of Science  
8 Marta st., 202a, Ekaterinburg, Russia, 620144