

## ВИТАЛИТЕТНАЯ СТРУКТУРА И РАЗЛИЧНЫЕ ПОДХОДЫ К ЕЕ ИЗУЧЕНИЮ НА ПРИМЕРЕ *CYPRIPEDIUM CALCEOLUS L*

© М.Б.Фардеева, С.В.Лукоянова

Статья посвящена изучению виталитетной структуры ценопопуляций *C. calceolus L.* в разных условиях произрастания и природопользования, на основе информативных биометрических параметров. В ходе исследования экспериментально разработанная 6-балльная шкала жизнеспособности особей *C. calceolus* достоверно отражает состояние ценопопуляций в различных зональных условиях и системах природопользования, может использоваться при оценке состояния популяций данных видов в разных регионах РФ.

**Ключевые слова:** *C. calceolus*, ценопопуляция, жизнеспособность особей, виталитетная структура, морфометрические параметры, индекс виталитета.

Сохранение биоразнообразия растительного мира – одна из важнейших задач, стоящих перед современной биологической наукой. К числу семейств, наиболее подверженных воздействию антропогенного фактора, относится семейство *Orchidaceae Juss.*, представители которого требуют подробного изучения и сохранения [1]. Многие представители семейства Орхидных являются редкими растениями, требующими охраны. Под охраной следует понимать меры, обеспечивающие возможность естественного существования вида в природных условиях, принятие и обеспечение законодательных актов (в том числе создание законов, постановлений, юридически оформленных Красных книг и др.) [2]. Сохранение рассматривается "как система мероприятий, направленных на поддержание существования вида" [3].

Поливариантность биометрических параметров особей одного онтогенетического состояния обусловлена их жизнеспособностью, и возможны разные методики для оценки жизненного состояния [4; 5; 6; 7; 8; 9]. Однако в связи с многообразием признаков морфоструктуры необходим обоснованный отбор ключевых или информативных параметров, наиболее точно характеризующих жизненное состояние растения. Эта задача решается путем анализа корреляций между признаками с использованием методов многомерной статистики [10]. Местная популяция является основной естественной единицей существования, приспособления, воспроизведения и эволюции населения вида, то есть основной демографической единицей [11]. Популяция вида состоит из ценопопуляций (ЦП), встречающихся в границах различных растительных ассоциаций. В зарубежной литературе используется понятие "метапопуляция". Если ареал данного вида состоит из более или менее географически изоли-

рованных участков, связанных между собой процессами обмена генов, вымирания и повторного заселения, вид образует "метапопуляцию" или совокупность "субпопуляций" [12].

В данной работе приведен фактический материал по оценке жизнеспособности особей *Cypripedium calceolus L.* и виталитетной структуре его ценопопуляций. В анализе использовались только генеративные особи (g1 – молодые, g2 – зрелые) в связи с тем, что они в процессе онтогенеза достигают полного развития жизненной формы, характерного для вида, поэтому устойчивы. А нарушение биометрических параметров является откликом на изменение среды, вызванное климатическими и часто антропогенными факторами. Определение онтогенетических (возрастных) групп *C. calceolus* давалось на основе описанного онтогенеза Башмачка настоящего [13].

Оценка виталитетного состояния особей проводилась по комплексу морфометрических параметров видов. Таковыми для генеративных групп (g1, g2) являются показатели, характеризующие ассимиляционную поверхность, отвечающую за прохождение фотосинтеза, транспирации, газообмена, накопление питательных веществ, т.е. за основные функции вегетативных органов – высота побега, площадь среднего листа, общая площадь ассимиляционной поверхности, количество побегов в куртине. А также показатели, которые характеризуют репродуктивное усилие растений, т.е. генеративных органов – количество цветков и плодов. Для изучения влияния климатических, экологических и фитоценологических условий на состояние *C. calceolus* и его ценопопуляций (ЦП) проводились исследования в условиях разных фитоценозов, на территории различного природопользования, в динамике по годам.

**Материалы и методы**

*C. calceolus* – короткокорневищный многолетник, в генеративном состоянии наблюдается ди- и монохазиальное ветвление корневища с образованием 5-6 побегов, формирующих куртину [14]. Вид редкий, кальцефил, отмечается в ос-

новном в условно-коренных хвойно-широколиственных и широколиственных фитоценозах, участки которых в большей степени отнесены к особо охраняемым природным территориям ООПТ (табл.1).

**Таблица 1.**

**Эколого-географические характеристики ценопопуляций *C. calceolus*.**

№ ЦП, местоположение, дата сбора	Местообитание	Степень воздействия	Показатели абиотических факторов		
			свет	влага	тип почвы
ЦП1; Семиозерка (ООПТ) склон юго-западной экспозиции, 1 июля 1992 г.	склон хвойно-широколиственного леса	опушка, слабая рекреация, периодические пожары	60-70% освещенности	среднее увлажнение	обнажение коренных пермских пород с известняками
ЦП2; Семиозерка (ООПТ) склон юго-западной экспозиции, 15 июня 2007 г. (та же ЦП, что и ЦП 1)	склон хвойно-широколиственного леса	опушка, слабая рекреация, периодические пожары	60-70% освещенности	среднее увлажнение	обнажение коренных пермских пород с известняками
ЦП3; Семиозерка (ООПТ) склон северо-западной экспозиции, 26 июня 1992 г.	сосняк с елью и липой осоково-ландышевый	оползень, интенсивная осыпь на верхней части склона	50-60% освещенности	среднее увлажнение	обнажение коренных пермских пород с известняками
ЦП4; Семиозерка (ООПТ) склон северо-западной экспозиции, 5 июня 2003 г. (та же ЦП, что и ЦП3)	сосняк с елью и липой осоково-ландышевый	оползень, интенсивная осыпь на верхней части склона	50-60% освещенности	среднее увлажнение	обнажение коренных пермских пород с известняками
ЦП5; Верхний Услон у ручья, 13 августа 1992 г.	подошва оврага	сползшая ступень оползня	60-70% освещенности	высокое увлажнение	обнажение коренных пермских пород с остатками серых лесных
ЦП6; В.Услон на склоне, 25 августа 1992 г.	коренной склон и бровка оврага	опушка широколиственного леса, по бровке слабая рекреация	50% в лесу и 90% на бровке освещенности	среднее увлажнение	серые лесные почвы, слабое обнажение известняков
ЦП7; Лабьшки, 20 июля 2007 г. (ООПТ) склон западной экспозиции	опушка березняка с сосной разнотравного	облесенный оползень, тропинка	60-70% освещенности	низкое увлажнение	обнажение коренных пермских пород с известняками
ЦП8; Кошачово, 3 июля 1992 г. склон северо-восточной экспозиции	овраг в липняке с дубом снытево-осоковым	сильная эрозия почвы, размывы ручья	40-50% освещенности	высокое увлажнение	суглинки

Был применен популяционный индекс – индекс виталитета ценопопуляций (IVC), рассчитываемый по размерным спектрам составляющих ценопопуляции особей генеративного возрастного состояния, разработанный А.Р.Ишбирдиным и др. (2004). Индекс рассчитывается с использованием выравнивания методом взвешивания средних:

$$IVC = \sum X_i / X_i / N, \quad (1)$$

где  $X_i$  – среднее значение i-го признака в ценопопуляции,  $X_i$  – среднее значение i-го признака

для всех ценопопуляций (при мониторинге одной ценопопуляции – среднее значение для всех лет наблюдений), N – число признаков.

Также использовался метод Ю.А.Злобина (1989), в соответствии с методикой определения виталитета ценопопуляций особи ранжируются на три класса по индексу жизнестойкости – *a* (высокий виталитет), *b* (средний) и *c* (низкий виталитет) – и определяется индекс виталитета Q [15]. Для оценки степени процветания или депрессив-

ности ценопопуляции применили отношение А.Р.Ишбирдина и др. (2004):

$$I_Q = (a+b)/2c \quad (2)$$

В этом случае значения больше 1 будут соответствовать процветающему состоянию, меньше 1 – депрессивному, а степень отклонения от 1, соответствующей равносному состоянию, будет отражать степень процветания или депрессии.

Оценка экологических характеристик фитоценозов проведена по экологическим шкалам Н.Елленберга (1974).

### Результаты исследований

По экологическим предпочтениям, Н.Елленберга (1974) Башмачок настоящий (рис.1) является полутеневым растением, получающим более 10%, но обычно менее 50% от полной освещенности (5 балл). Вид растет на почвах от влажных до сухих (4), на очень кислых и на щелочных, часто избегает средние условия, так как не выдерживает конкуренции с другими видами (8), почвы по содержанию азота предпочитает бедные (0) [16].



Рис.1. Башмачок настоящий *C. calceolus*.

Более информативным параметром является размерность листьев и всей площади листовой поверхности, отвечающей за фотосинтез и продуктивность особей, соответственно повышающая ее конкурентоспособность. Различия между параметрами онтогенетических групп достоверны (Фардеева, 2002). Как пример, мы рассмотрим параметр "площадь общей листовой поверхности".

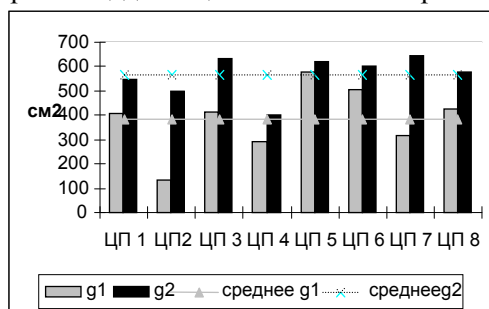


Рис.2. Динамика показателя "площадь общей листовой поверхности" генеративных особей *C. calceolus* в разных ЦП.

Минимальные значения признака – 128 см<sup>2</sup> характерны для ЦП 4 – ООПТ "Семиозерка" (2003) северо-западная экспозиция, что обусловлено, по-видимому, недостатком влаги и постоянно действующими процессами осыпания и оползания склона, сильной нарушенностью почвы. По данным 1992 года, показатели "площади среднего листа" и "площади общей листовой поверхности" генеративных особей здесь были одними из самых высоких (ЦП 3), что объяснялось хорошей затененностью и увлажненностью северо-западного склона. Однако за 10 лет произошло резкое снижение параметров жизнестойкости, обусловленное, как мы считаем, постоянными оползновыми процессами. В остальных ЦП показатели площади общей листовой поверхности как зрелых, так и молодых генеративных особей высокие, для g<sub>2</sub> от 500 до 600 см<sup>2</sup> и g<sub>1</sub> около 400 см<sup>2</sup> соответственно.

В целом можно сказать, что за 15 лет жизненное состояние ЦП (1, 2, 3, 4) *C. calceolus* на ООПТ "Семиозерка" в зоне хвойно-широколиственных лесов в условиях оползней и периодических пожаров ухудшилось. Напротив, на участке ООПТ "Лабышки" – Предволжье (ЦП 7, 8) состояние улучшилось (рис.3, 4), здесь отмечена только слабая рекреация. В Услохе из 2-х процветающих ЦП осталась только одна (ЦП 6), другая была разрушена внешними водами ручья.

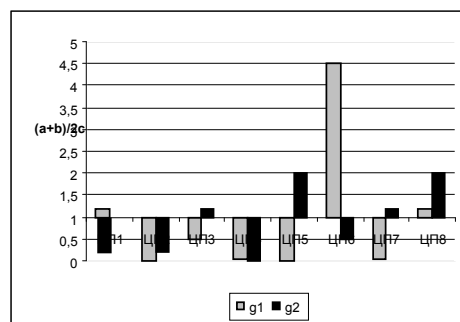


Рис.3. Степень депрессивности или процветания ЦП *C. calceolus* по параметру "площадь общей листовой поверхности".

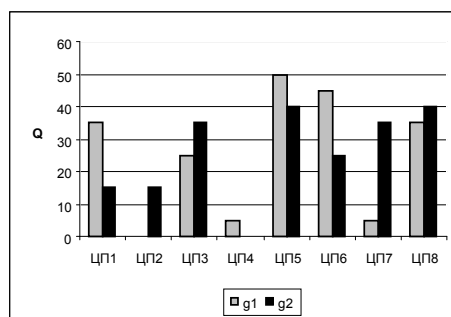


Рис.4. Динамика индекса Q для ЦП *C. calceolus* по параметру "площадь общей листовой поверхности".

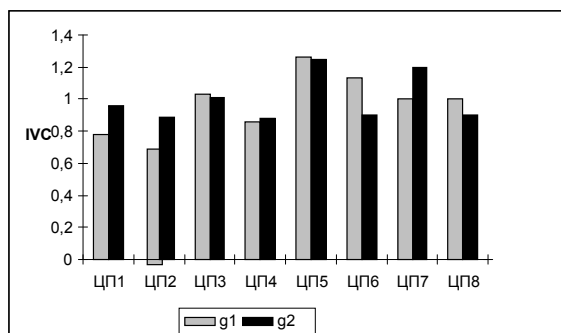


Рис.5. Индекс виталитета ценопопуляций *C. calceolus*.

Анализируя значения индекса (рис.5), можно сказать, что благоприятными местообитаниями для ЦП и вида *C. calceolus* являются широколиственные леса в Верхнем Усломе (ЦП 5) и Лабьшках (ЦП 7), здесь наблюдается тах значение индекса  $IVC=1,2$ , что обусловлено более благоприятными климатическими характеристикам Предволжья. Однако, по данным 2006 года, ценопопуляция Верхнего Услона была смыта внешними водами ручья, и сейчас ее уже нет. Стрессовая ситуация, которая возникла в результате оползания площадки вместе с *C. calceolus*, привела к снижению конкуренции и первоначально – к увеличению численности и размножения, улучшению жизнеспособности особей для закрепления на территории. Тем не менее ЦП не справилась с экстремальными природными условиями, однако на верхней части склона осталась часть ЦП.

На основе статистического анализа и многолетней динамики биометрических параметров в разных климатических и эколого-фитоценологических условиях, отражающих поливариантность развития популяции, мы попытались разработать шкалу жизнеспособности особей *C. calceolus*. В 6-балльной шкале жизнеспособности *C. calceolus* более мощные особи *C. calceolus* характеризуют высший балл жизнеспособности (балл 6), менее мощные – низший (балл 1), все остальные особи распределены по признаку жизнеспособности в промежутке между этими баллами.

В таблицах приведены биометрические показатели жизнеспособности на этапе завершения фазы плодоношения (таблицы 3, 4).

Таблица 3.

**Шкала жизнеспособности молодых генеративных особей (g<sub>1</sub>) Башмачка настоящего (*C. calceolus*) (в баллах)**

Баллы	Высота побега, см	Средняя площадь листа, см <sup>2</sup>	Площадь общей листовой поверхности, см <sup>2</sup>	Количество побегов в куртине (шт.)
6	55 и более	120 и более	600 и более	5 побегов
5	50-55	100-120	500-600	4 побега
4	45-50	80-100	400-500	2-3 побега

3	40-45	60-80	300-400	2 побега
2	35-40	40-60	200-300	1 побег, куртина не образуется
1	35 и менее	40 и менее	200 и менее	1 побег, куртина не образуется

Таблица 4.

**Шкала жизнеспособности зрелых генеративных особей (g<sub>2</sub>) Башмачка настоящего (*C. calceolus*) (в баллах)**

Баллы	Высота побега, см	Средняя площадь листа, см <sup>2</sup>	Площадь общей листовой поверхности, см <sup>2</sup>	Количество побегов в куртине (шт.)
6	55 и более	140 и более	700 и более	11-12 побегов и более
5	50-55	120-140	600-700	9-10 побегов
4	45-50	100-120	500-600	7-8 побегов
3	40-45	80-100	400-500	5-6 побегов
2	35-40	60-80	300-400	2-4 побега
1	35 и менее	60 и менее	300 и менее	1 побег, куртина не образуется

На основе этих данных была составлена сводная таблица жизнеспособности особей и ценопопуляций *C. calceolus* в различных зональных условиях (таблица 5). При данном подходе к изучению жизненного состояния особей *C. calceolus* разработанная 6-балльная шкала может быть использована в дальнейшем для вычисления жизнеспособности ценопопуляций, произрастающих не только в разных зональных условиях, но и в разных регионах. В основу шкалы были выбраны информативные, статистически достоверные признаки, учтенные выше (табл.3, 4), по которым были проанализированы особи генеративных возрастных групп.

В ценопопуляциях *C. calceolus* хвойно-широколиственных лесов Заволжья молодые генеративные особи менее стабильны и преобладают особи с низким и средним виталитетом (2-3 балл). Особи критического состояния жизнеспособности могут составлять 40-60% в ЦП, причем в ООПТ "Семиозерка" их доля составляет 63%. Подобная низкая жизнеспособность обусловлена кислой реакцией дерново-подзолистых почв, снижением азотно-фосфорного обмена и оползневыми процессами, сильно нарушавшими почву. Напротив, в зоне широколиственных лесов даже молодые генеративные особи в основном имеют средний и выше среднего балл (3-4) жизнеспособности, критическая жизнеспособность (1 балл в 40%) от-

мечена только в Кошачово, где отмечаются длительные эрозионные процессы и довольно низкая освещенность местообитания. Высокий балл жизненности (5-6) от 13 до 40% отмечен только в Предволжье, в зоне хвойно-широколиственных лесов только на северо-западном склоне ООПТ "Семиозерка", где их доля мала от 6 до 13%.

**Таблица 5.**  
**Соотношение особей *C. calceolus* разной жизненности в различных зональных условиях по ЦП.**

		балл	Зона хвойно-широколиственных лесов, Заволжье				Зона широколиственных лесов, Предволжье			
			ЦП 1	ЦП 2	ЦП 3	ЦП 4	ЦП 5	ЦП 6	ЦП 7	ЦП 8
Встречаемость особей с разными баллами жизненности, %	Среди g1	Ж-1	26,7	63,4	3,3	40			3,3	40
		Ж-2	16,6	20	26,7	33,3		13,3	23,4	
		Ж-3	10	13,3	33,3	13,3	3,3	43,4	40	46,7
		Ж-4	46,7	3,3	16,7	6,7	30	13,3	13,3	6,6
		Ж-5			13,3		26,7	3,3	13,3	26,7
		Ж-6			6,7	6,7	40	26,7	6,7	
	Среди g2	Ж-1		26,7		16,6		6,7		16,7
		Ж-2	10	6,7	6,7	30		23,3		16,7
		Ж-3	43,4	33,3	40	33,4	16,6	26,6	6,7	30
		Ж-4	23,3	13,3	6,7	20	33,4	10	20	26,6
		Ж-5	23,3		23,3		43,3	16,7	23,3	10
		Ж-6		20	23,3		6,7	16,7	50	

Зрелые генеративные особи *C. calceolus*, как более стабильные и устойчивые к изменению условий среды, в основном имеют 3-4 балл жизненности – средний и чуть выше, их доля составляет 40-60%. Доля особей, имеющих высокий и наивысший балл жизненности (5-6), варьирует в хвойно-широколиственных лесах от 20-23%, в зоне широколиственных лесов от 30 до 50%, исключением является ЦП 8 (Кошачово), где отмечена овражная эрозия. Особи, находящиеся в критическом и низком жизненном состоянии, варьируют в ЦП от 6-26%, меньше их в Предволжье (6,7%).

В целом на состояние жизненности особей и ЦП *C. calceolus* оказывают влияние климатические условия, почвенные факторы (кислотность и азотообеспеченность), которые отличны в зоне хвойно-широколиственных и широколиственных лесов. Также отрицательное влияние оползней и эрозии, приводящее к нарушению почвы, косвенно вызванных антропогенным воздействием, усугубляют ситуацию, в этом случае не помогают даже природоохранные мероприятия, эффективными будут только лесовосстановительные работы для закрепления склонов.

#### Заключение

Достоверно информативными биометрическими показателями особей *C. calceolus* являются

высота побега, площадь общей листовой поверхности. Использование двух методов определения виталитетной структуры ценопопуляций Ю.А.Злобина (1989) и А.Р.Ишбирдина (2004) показало, что второй метод при отсутствии в ценопопуляциях особей низкого класса виталитета "с"<sub>0</sub>=0 не может быть использован, так как это не позволяет формула. Однако в целом можно сказать, что при постоянных и ежегодных исследованиях одной и той же ценопопуляции использование данного метода очень перспективно.

В зональных условиях хвойно-широколиственных лесов (Заволжье) индексы виталитета ЦП *C. calceolus* в динамике по годам остаются более или менее одинаковыми, и ЦП находятся в равновесно-депрессивном состоянии, в целом чуть ниже, чем в ЦП Предволжья. В зоне широколиственных лесов (Предволжье) складываются благоприятные климатические условия и индексы виталитета в целом по годам высокие. Экстремальные условия, вызванные активно идущими процессами оползания берегов р. Волга и овражной эрозии водораздельных участков, периодические пожары либо низкая освещенность приводят к уменьшению размеров и численности зрелых генеративных особей. Жизненное состояние ценопопуляций корневищных лесных видов орхидей, таких как *C. calceolus*, в большей степени зависит от климатических условий, характеристики местообитания и от эдафоографических факторов.

Экспериментально разработанная 6-балльная шкала жизненности особей *C. calceolus* достоверно отражает состояние ценопопуляций в различных условиях произрастания и природопользования и может использоваться при оценке состояния популяций данных видов повсеместно.

\*\*\*\*\*

1. Антипина В.А., Коломейцева Г.Л. Размножение редких тропических Орхидных in vitro // Вестн. Тверского гос. ун-та. – Сер.: Биол. Экол. – 2007. – №7(35). – С.29-33.
2. Варлыгина Т.И. Охрана Орхидных (Orchidaceae) в России // Вестн. Тверского гос. ун-та. – Сер.: Биол. Экол. – 2007. – №7(35). – С.70-74.
3. Андропова Е.В. Современные методы исследования и сохранения редких и исчезающих видов орхидных России // Вестн. Тверского гос. ун-та. – Сер.: Биол. Экол. – 2007. – №7(35). – С.24-28.
4. Заугольнова Л.Б., Никитина С.В., Денисова Л.В. Подходы к оценке состояния ценопопуляций растений // Бюл. МОИП. – 1993. – Т.98(5). – С.100-108.
5. Ишбирдин А.Р., Ишмуратова М.М., Журнова Т.В. Стратегии жизни ценопопуляции *Cephalanthera rubra* (L.) Rich. На территории Башкирского государственного заповедника // Вестн. Нижегородского ун-та им.Н.И.Лобачевского: матер. VIII

- Всерос. Популяционного семинара "Популяции в пространстве и времени". – 2005. – С.85-98.
6. *Проскуракова Г.М.* О количественных соотношениях доминантов степной растительности Большого Балхана // Бот. Журн. – 1968. – Т.53. – №4. – С.524-530.
  7. *Уранов А.А.* Жизненное состояние вида в растительном сообществе // Бюл. МОИП. – 1960. – Т.55 – №3. – С.77-92.
  8. *Уранов А.А.* Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времен и энергетических волновых процессов // Биол. Науки. – 1975. – №2. – С.17-29.
  9. *Уранов А.А., Серебрякова Т.И.* Ценопопуляции растений (основные понятия и структура). – М.: Наука, 1976. – 216 с.
  10. *Александров В.В.* Оценка состояния ценопопуляций *Zostera Marina* L. В районе Севастополя (Черное море) // Экология моря. – 2000. – Вып.52. – С.26-30.
  11. *Марков М.В.* Популяционная биология растений. – Казань: КГУ, 1986. – 108 с.
  12. *Сулей М.* Жизнеспособность популяций (природоохранные аспекты). – М.: Мир, 1989 – 221 с.
  13. *Фардеева М.Б.* Онтогенез башмачка настоящего, или Венерина башмачка (*C. Calceolus L.*) // Онтогенетический атлас лекарственных растений. – Йошкар-Ола, 2002. – С.114-120.
  14. *Фардеева М.Б., Чижикова Н.А., Красильникова О.В.* Многолетняя динамика возрастной и пространственной структуры популяций *Cypripedium calceolus L.* // Учен. зап. Казан. ун-та. – Сер.: Естественные науки. – 2010. – Т.152. – Кн.3. – С.159-173.
  15. *Злобин Ю. А.* Принципы и методы изучения ценологических популяций растений. – Казань: КГУ, 1989. – 145 с.
  16. *Ellenberg H.* Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas // Scripta Geobotanica – 1974 – Bd.9. – 98 s.

## VITALITY STRUCTURE AND DIFFERENT APPROACHES TO ITS STUDY ON THE EXAMPLE OF *CYPRIPEDIUM CALCEOLUS L*

**M.B.Fardeeva, S.V.Lukoyanova**

The article deals with the vitality structure of cenopopulations of *C. calceolus L.* in the various conditions of vegetation and environmental management. The authors worked out a 6-point scale of vitality of *C. calceolus* species that reflects the state of cenopopulation in different zonal conditions and systems of environmental management. It may be used while estimating the state of populations of these species in different regions of the Russian Federation.

**Key words:** *C. calceolus*, cenopopulations, vitality of species, vitality structure, morphometric parameters, vitality index.

\* \* \* \* \*

**Фардеева Марина Борисовна** – кандидат биологических наук, доцент кафедры общей экологии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: orchis@inbox.ru

**Лукоянова Светлана Витальевна** – соискатель кафедры биоэкологии Татарского государственного гуманитарно-педагогического университета.

E-mail: Svetlawka201@mail.ru

Поступила в редакцию 20.03.2011