

УДК 591: 597.6

ВСТРЕЧАЕМОСТЬ И РАЗНООБРАЗИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ ПОПУЛЯЦИЙ ОЗЕРНОЙ ЛЯГУШКИ (*ANURA*, *AMPHIBIA*) СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

© 2012 А.И. Файзулин

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Поступила 23.06.2012

На территории Среднего Поволжья в 4 популяциях озерной лягушки отмечены 10 типов морфологических аномалий внешнего строения. Нами проведена оценка разнообразия аномалий по параметрам фенотипического разнообразия μ и h . Установлено, возрастание в 1,65 раза, показателя разнообразия спектра аномалий ($\mu \pm S_p$) в условиях высокого антропогенного воздействия ($2,50 \pm 0,021$), по сравнению с контролем ($1,49 \pm 0,004$).

Ключевые слова: аномалии, *Rana ridibunda*, Среднее Поволжье, биоиндикация.

Возникновение аномалий у земноводных связано с многими независимыми и взаимодействующими факторами. Отклонения в строении вызывают мутации и взаимодействия генов, химические тератогены, а также повреждения хищников и метазеркарий трематод, вызывающих аномальные регенерации конечностей [19, 21] и нарушения морфогенеза позвоночника [4]. В условиях высокой антропогенной нагрузки отмечается повышение разнообразия и общей частоты аберраций у амфибий [2, 3, 8, 16, 20, 22]. В настоящее время предлагается использовать встречаемость и разнообразие аномалий для оценки состояния популяций земноводных [2, 10, 15].

В Европейской части России морфологические отклонения в строении (кладок, личинок, неполовозрелых и половозрелых особей) отмечены у всех видов земноводных [2, 3, 7, 8, 11, 13, 14, 18]. Наибольшим разнообразием аномалий характеризуется озерная лягушка *Rana ridibunda* [7, 13, 14, 15, 16].

Цель нашего исследования – проанализировать состав, встречаемость и разнообразие морфологических аномалий в популяциях озерной лягушки из различных по степени антропогенного воздействия местообитаний Среднего Поволжья.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для характеристики влияния антропогенной нагрузки на изменение параметров половозрастной состава в 1998 г. нами исследованы 4 популяции озерной лягушки в районе устья р. Чапаевки и Мордовенской поймы (Безенчукский и Ставропольский районы Самарской области).

Уровень антропогенной нагрузки учитывали по уровню нарушения морфогенетического гомеостаза [15, 17]. Таким образом, нами выделены для исследования следующие выборки, которые распределены с учетом возрастания антропогенной нагрузки: I. «Брусяны» – водоемы западной притеррасная часть Мордовенской поймы, изолированная от Саратовского водохранилища, 200–500 м южнее с. Брусяны ($N_{juv.}=98$; $N_{ad.}=70$); II. – «Мордово» – восточная центральнопойменная, занимает большую

часть поймы: Кольцовскую воложку, межгривные озера прирусловой части поймы в 200–400 м южнее пос. Мордово ($N_{juv.}=79N_{ad.}=21$); III. – «Кольцово» – пруд оросительной системы, у восточной окраины с. Кольцово ($N_{juv.}=70N_{ad.}=14$); IV. – «Васильевские острова» – прибрежного мельководья Васильевских о-вов, Саратовского водохранилища ($N_{juv.}=38N_{ad.}=27$).

Для акватории у Васильевских островов в Саратовском водохранилище (2–2,5 км ниже устья р. Чапаевки) отмечены превышение ПДК (здесь и далее ПДК указаны для водоемов рыбохозяйственного назначения): в 1995–1996 гг. для легкоокисляемых органических веществ в 2–3 раза, фенолов в 3–5 раз, фосфора 3–9 раз; в 1997 г. для марганца в 11 раз [12].

Кроме, собственных данных, учитывались результаты проведения исследования цитогенетического гомеостаза озерной лягушки в районе устья р. Чапаевки (Чубинишвили, 1998) и данные по интегральной оценке состояния Саратовского водохранилища по морфологическим аномалиям личинок рыб [5]. Участок акватории водохранилища в районе Васильевских островов отнесен в 1997 г. к зоне «экологического бедствия» с максимальным значением Индекса Состояния Популяции (3,24) применяемый для оценки состояния пресноводных экосистем, в то время как, у пос. Мордово, ИПС составлял в 1997 – 2,22 [5].

Статистическая оценка встречаемости по параметрам фенотипического разнообразия μ и h Л. А. Животовского [6]. Установлена, статистически достоверные различия (по критерию идентичности I) между популяциями обитающими в различных условиях антропогенной нагрузки. Классификация типов аномалий проведена с учетом симметрии их проявления.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В районе исследования нами обнаружено 10 типов морфологических отклонений: полимелия, эктромелия, симметричная полидактилия, несимметричная полидактилия, эктродактилия, брахидактилия, клинодактилия, отсутствие (недоразвитие) пяточного бугра, циклопия, отсутствие зрачка. (табл. 1).

Файзулин Александр Ильдусович, ст. науч. сотр., канд. биол. наук, amvolga@inbox.ru

Таблица 1. Распределение морфологических аномалий в районе устья р. Чапаевки

Типы аномалии	Возрастная группа	Брусяны	Мордово	Кольцово	Васильевские о-ва	
		n/P±Sp	n/P±Sp	n/P±Sp	n/P±Sp	
Полимелия	A/3	juv.	–	–	2/2,86±1,99	–
Эктромелия	A/3	juv.	–	–	–	1/2,63±2,60
Полидактилия	S/3	juv.	–	1/1,27±1,26	–	1/2,63±2,60
Полидактилия	A/3	juv.	1/1,02±1,01	–	–	–
Эктродактилия	A/П	juv.	1/1,02±1,01	–	–	–
Эктродактилия	A/3	ad.	–	–	–	1/3,7±3,63
Брахидактилия	A/П	juv.	1/1,02±1,01	1/1,27±1,26	–	–
Брахидактилия	A/3	ad.	–	–	–	1/3,7±3,63
Клинодактилия	A/3	ad.	–	1/4,76±4,65	–	–
Отсутствие пяточного бугра	A	ad.	–	–	1/7,14±6,88	–
Отсутствие глаз	A	juv.	–	–	2/2,86±1,99	–
Отсутствие зрачка	A	juv.	–	–	1/1,43±1,42	1/2,63±2,60
Особь без аномалий		juv.	97/96,94±1,74	77/97,46±1,77	65/92,85±3,08	35/92,11±4,37
Особь без аномалий		ad.	70/100±0,00	20/95,24±4,65	13/92,86±6,88	25/92,6±5,04
Всего аномалий		juv.	3/3,06±1,74	2/2,54±1,77	5/7,89±3,08	3/7,15±4,37
		ad.	–	1/4,76±4,65	1/7,4±6,88	2/7,14±5,04

Рис. 1. Полимелия задней конечности озерной лягушки *Rana ridibunda* (популяция «Кольцово»)

Полимелия – развитие дополнительных конечностей. Отмечена в форме развития 1 и 2-х дополнительных конечностей (рис. 1). Для Средней Волги, отмечен 1 экз. озерной лягушки с полимелией [18]. В г. Казани, отмечена у 1 экз. озерной лягушки [8]. Данная аномалия отмечена у краснобрюхой жерлянки и зеленой жабы [13]. Одним из факторов, вызывающие полимелию (массовую) относят заражение пояса конечностей метацеркариями трематод [21]. Однако по нашим данным [14], цисты трематод в зоне развития дополнительных конечностей не обнаружены.

Эктромелия – недоразвитие конечностей. В Волжском бассейне отмечена у озерной лягушки, а также у краснобрюхой жерлянки, обыкновенной чесночницы, серой жабы [13].

Симметричная полидактилия. При рассмотрении проявления аберраций билатеральных признаков, симметричные нарушения доминируют при развитии добавочных пальцев — развитие 5 дополнительного пальца на передних, 6 – 7 на задних конечностях. Отмечен 1 случай симметричной полидактилии с развитием дополнительных пальцев на всех конечностях. В популяции озерной лягушки, обитающей на территории Мордовенской пой-

мы Саратовского водохранилища (окр. пос. Мордово, Самарской области). В данном географическом пункте, симметричная полидактилия является массовой аномалией, которая отмечалась в 1997 г. ($n=8$; $5,93\pm 2,03$; $N=135$). В других регионах массовая симметричная полидактилия (с развитием дополнительного одного и двух пальцев) была зарегистрирована у серой жабы в Окском заповеднике (Рязанская обл.) в выборке собранной в период размножения (8-9 апреля 1975; $n=11$) с частотой 7,2 % ($N = 153$) [18]. В г. Казани, отмечена только симметричная полидактилия в форме удвоения фаланг первого пальца, дополнительного палец между первым и вторым пальцами, сочетанием первого и второго вариантов [8]. Несимметричная полидактилия встречается у краснобрюхой жерлянки ($n=2$; $1,68\pm 1,18$ %), травяной ($n=1$; $0,68\pm 0,68$ %), остро-мордой ($n=1$; $0,70\pm 0,70$ %) и озерной ($n=10$; $0,59\pm 0,18$ %) лягушек.

Несимметричная полидактилия. В период исследования отмечена только в районе контроля – популяции «Брусяны». В 1996–1997 гг. регистрировались в пойменных водоемах Мордовенской поймы. Несимметричная полидактилия (развитие 6-го пальца на правой ноге), отмечена из порядка 4 тыс. просмотренных экземпляров в регионе г. Казани. В том же районе отмечены 3 экз. озерной лягушки с несимметричной полидактилией [18]. В Окском заповеднике 2 экз. с полидактилией, обнаружены в выборке из почти 10 тыс. особей прудовой (съедобной) *Rana lessonae/esculenta* лягушек [18].

Эктродактилия – недоразвитие пальцев. У озерной лягушки отмечена на передних в популяции «Брусяны», так и на задних конечностях, в популяции «Васильевские острова». У других видов отмечалась для передних конечностей обыкновенной чесночницы ($n=1$; $0,94\pm 0,94$ %) и зеленой жабы ($n=1$; $1,15\pm 1,14$ %) [13]. Для задних конечностей остромордой ($n=1$; $0,70\pm 0,70$) и травяной ($n=1$;

0,68±0,68) лягушек. Эктродактилия в г. Казани отмечена у 2 экз. зеленой жабы (2 экз.) и остромордой лягушки (1 экз.) [8].

Брахидактилия – укороченная длина пальцы. Отмечена во всех популяциях, кроме «Кольцово». У других видов брахидактилия несимметричная задних конечностей отмечена у серой жабы (n=1; 0,91±0,90), травяной (n=1; 0,68±0,68) и прудовой (n=1; 0,40±0,40) лягушек [13].

Клинодактилия – искривленные пальцы. Редкая аномалия, отмечена единично в популяции «Мордово». В Волжском бассейне отмечена у травяной (n=1; 0,68±0,68) и прудовой (n=1; 0,40±0,40) лягушек [13].

Отсутствие (недоразвитие) пяточного бугра. Отмечены только у озерной лягушки в популяции «Кольцово».

Циклопия – отсутствие глаз; Отмечена у озерной лягушки (n=2; 0,12±0,08). В г. Казани обнаружена у одной особи прудовой лягушки [8]. Аномалии – симметричное отсутствие век (n=1; 0,06±0,06 %) и несимметричное глаз (недоразвитие), отмечены только у метаморфизирующих сеголетков.

Отсутствие зрачка. Редкая аномалия, отмеченная в Волжском бассейне только у озерной лягушки [13].

Из таблицы видно, что наиболее высокая частота аномалий отмечена в популяции «Васильевские острова». Словиях высокой антропогенной нагрузки. Также высокий уровень встречаемости аберраций, около 7%, наблюдается в условиях средней антропопрессии в выборке из пруда у с. Кольцово.

Различия по частоте встречаемости аномалий не являются статистически достоверными. Распределение общей частоты встречаемости аберраций и изменения величины флуктуирующей асимметрии заметно отличаются, что не позволяет оценивать состояние популяции по данному параметру. Но общая тенденция – «повышения встречаемости аномалий с ростом антропогенной нагрузки», отмеченная другими исследователями [4, 20] сохраняется. Однако, на отсутствие связи между показателем «общая частота аномалий» и нарушением стабильности развития указывает Е. Е. Коваленко [9].

Другой, более объективный показатель – разнообразие аномалий – анализируется в лабораторных [9] и природных популяциях [3]. В качестве критерия нами выбран показатель фенотипического разнообразия μ и доля редких фенотипов h [6]. Обычно, в популяции в качестве нормального фенотипа, рассматривается доминирующий тип строения, без видимых отклонений (93 – 99%) (p_1). Остальные особи с видимыми отклонениями, возникающими на эмбриональной и личиночной стадии развития, – морфологическими аномалиями включены в группы типов с ненормальным строением ($p_2 + \dots + p_{m-1}$), где m – число вариантов фенотипа, включая и особей без отклонений (анализируется весь ряд фенотипов, а не только аномальные). Таким образом, данные показатели оценивают одновременно частоту встречаемости и разнообразие аномалий в выборке.

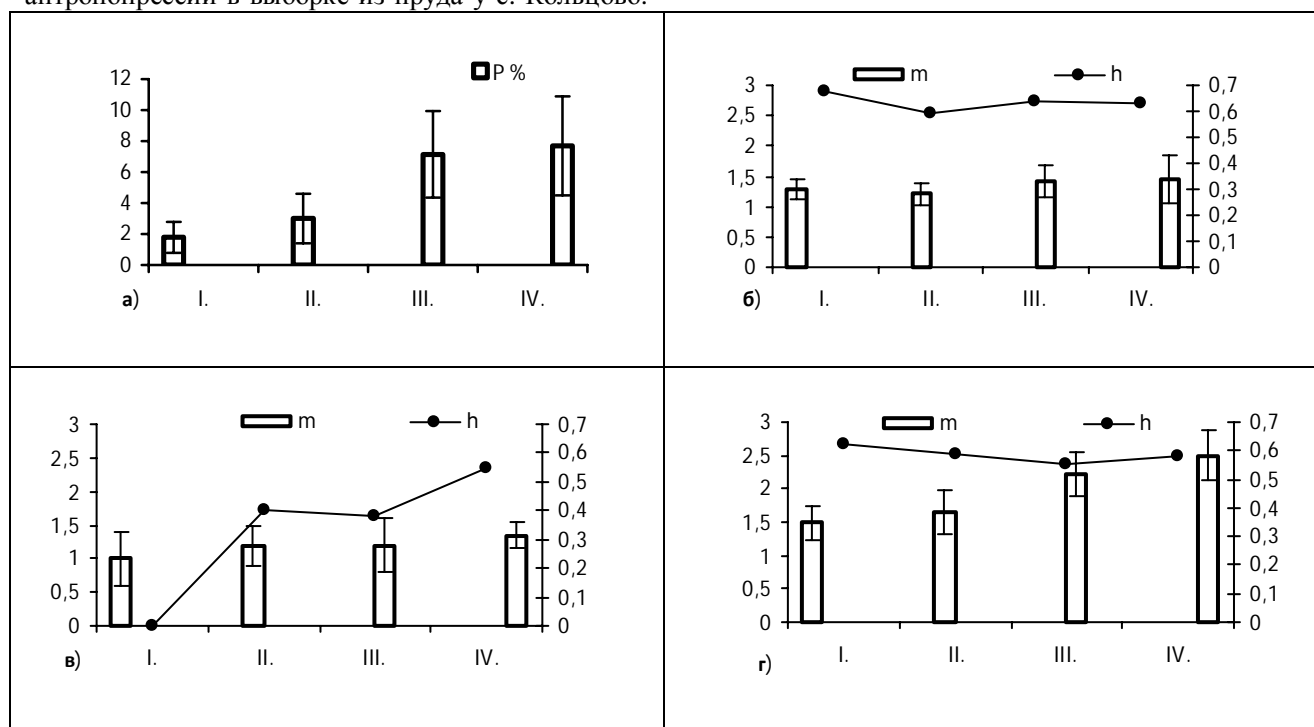


Рис. 2. Значение общей частоты аномалий по общей выборке а); величина показателей разнообразия μ и доли редких фенотипов h по морфологическим аномалиям среди: б) неполовозрелых (juv.), в) половозрелых особей (ad.) и г) по общей выборке (juv. + ad.). Цифрами обозначены популяции: I – Брусяны (контроль); II – Мордово; III – Кольцово; IV – Васильевские острова.

Значение параметров разнообразия и доли редких типов аномалий в районе исследования представлено на рис. 1. Из графика видно, что в условиях высокой антропопрессии выше разнообразие аномалий, чем в условиях средней и низкой антропопрессии.

Среди сеголетков высоко разнообразие уродств в пруду в окр. с. Кольцово, где личиночное развитие проходит в «экстремальных» условиях – высокой плотности (водоемом сильно пересыхает к началу метаморфоза, уровень воды падает на 0,5 – 0,8 м) и резких перепадах температуры, в отличие от пойменных более крупных водоемов, где водохранилище и растительность формируют благоприятные микроклиматические условия. Достаточно редкая встречаемость особей с аномалиями, среди прошедших метаморфоз особей связана с низкой жизнеспособностью особей [21].

Таблица 2. Оценка сходства (r) и величина критерия идентичности (I) по спектру морфологических аномалий в районе исследования

Популяции			I – критерий идентичности			
			Брусяны	Мордово	Кольцово	Васильевские о-ва
r – индекс сходства	Брусяны	Juv	–	2,92	9,53* (9,49)	6,51
		Ad.		1,58	1,20	1,88
		Juv.+Ad.		5,39	10,17	6,91
	Мордово	Juv	0,983±0,010	–	2,98	5,30
		Ad.	0,976±0,024		2,72	9,49*
		Juv.+Ad.	0,984±0,009		9,34	3,91
	Кольцово	Juv	0,945±0,020	0,966±0,011	–	5,59
		Ad.	0,964±0,035	0,940±0,031		2,68
		Juv.+Ad.	0,955±0,012	0,949±0,016		8,91
	Васильевские о-ва	Juv	0,949±0,024	0,951±0,019	0,944±0,023	–
		Ad.	0,962±0,030	0,939±0,039	0,927±0,043	
		Juv.+Ad.	0,962±0,012	0,971±0,012	0,939±0,020	

Примечание. * различия достоверны на статистически значимом уровне ($P < 0,05$).

Таким образом, установлена зависимость разнообразия аномалий (μ) от степени антропогенного воздействия на популяцию. Наибольшие различия по показателям разнообразия (μ) между популяциями из контроля и зоны наибольшего антропогенного воздействия различаются в 1,7 раз. Подобный уровень различий (в 1,5 – 2 раза) позволяет оценить показатель разнообразия аномалий, как «хороший биоиндикатор» (4 балла) по шкале предложенной О. В. Бухариным и соавторами [1].

Полученные нами данные согласуются с оценкой состояния популяции рыб по абберациям личинок – интегральным показателем состояния популяции (ИПС) в районе исследования (Евланов и др., 1999): от 0,21 в 1996 г. и 2,22 в 1997 г. (окр. пос. Мордово) до 3,24 в 1997 г. (в районе устья р. Чапаевки – «Васильевские острова»). По опубликованным данным тенденция увеличения разнообразия типов аномалий с повышением антропогенной нагрузки отмечается для городских территорий Екатеринбурга [2], г. Пензы [7], г. Казани [8], и г. Челябинска [16], а также в промышленных районах восточной Украины [20].

Сравнение спектра аббераций разнообразия представлен в табл. 2. Из таблицы видно, что статистически значимые различия установлены между неполовозрелыми особями популяций Кольцово и Брусяны, а также половозрелыми популяций Мордово и Васильевских островов.

Высокое сходство по спектру аномалий отмечается для популяций «Мордово» с популяцией «Васильевских о-вов» ($r > 0,97$) и «Брусяны» ($r > 0,98$). Ниже сходство ($r < 0,96$) популяции «Брусяны» с «Кольцово» и «Васильевскими о-вами». Наименьшее сходство ($r < 0,95$) отмечается для популяции «Кольцово» с «Мордово» и «Васильевскими о-вами». Вероятно, на спектр аномалий, кроме антропогенного воздействия влияют и условия обитания. Так популяция «Кольцово» населяющий небольшой пруд, имеет наибольшие отличия от остальных популяций, с критерием идентичности ($I > 8,9$).

Исследования поддержаны Грантом РФФИ (проект № 12-04-31774).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бухарин О.В., Захаров В.М., Зинченко Т.Д., Немцева Н.В., Розенберг Г.С., Шитиков В.К. Методы биомониторинга для оценки состояния антропогенно-нагруженной равнинной реки // Экология и пром-сть России. 2010, №11. С. 10–15.
2. Вершинин В.Л. Экологические особенности популяций амфибий урбанизированных территорий. Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Екатеринбург, 1997. 47 с.
3. Вершинин В.Л. Морфологические аномалии амфибий городской черты // Экология. 1989. № 3. С. 58–66.
4. Вершинин В.Л., Неустроева Н.С. Роль трематодной инвазии в специфике морфогенеза скелета бесхвостых амфибий на примере *Rana arvalis* Nilsson, 1842 // Докл. Академии наук. 2011. Т. 440. № 2. С. 279–281.
5. Евланов И.А., Минеев А.К., Розенберг Г.С. Оценка состояния пресноводных экосистем по морфологическим аномалиям у личинок рыб: методическое пособие. Тольятти: ИЭВБ РАН, 1999. 38 с.
6. Животовский Л.А. Показатели популяционной изменчивости по полиморфным признакам // Фенетика популяций. М.: Наука, 1982. С. 38–44.
7. Закс М.М. О морфологических аномалиях зеленых лягушек (*Rana ridibunda*, *R. lessonae*) г. Пензы // Изв. ПГПУ им. В.Г. Беллинского. 2008. № 10 (14). С. 63–65.

8. Замалетдинов Р.И. Морфологические аномалии в городских популяциях бесхвостых амфибий (на примере г.Казани) // Совр. герпетология. 2003, Т. 2. С. 148–153.
9. Коваленко Е.Е. Методологические проблемы биоиндикации // Вопр. герпетологии. Пушино-Москва, 2001. С. 124–126.
10. Леонтьева О.А., Семёнов Д.В. Земноводные как биоиндикаторы антропогенных изменений среды // Успехи современной биологии. 1997. Т. 117. № 6. С. 726–736.
11. Литвинов Н.А., Файзулин А.И., Шураков А.И., Ганицук С.В. Анализ состояния кладок сибирского углозуба *Salamandrella keyserlingii* Dybowski, 1870 (Caudata, Amphibia) Предуралья // Поволж. экологич. журн. 2010. № 4. С. 438–441.
12. Селезнев В.А., Цыкало В.А., Сергиенко Т.С. Содержание марганца в поверхностных водах Самарской области // 10 лет Гос. комитету по охране окружающей среды Самарской области: Итоги научных исследований. Самара: Комитет по охране окружающей среды Самарской области, 1998. С. 108–117.
13. Файзулин А.И. О морфологических аномалиях бесхвостых земноводных (Anura, Amphibia) Волжского бассейна // Праці Українського герпетологічного товариства. 2011, N. 3. С. 201–207.
14. Файзулин А.И., Чихляев И.В. Морфологические аномалии бесхвостых земноводных (Anura, Amphibia) Среднего Поволжья // Актуальные проблемы герпетологии и токсикологии (Сборник научных трудов) Вып. 9. Тольятти, 2006. С. 178–182.
15. Файзулин А.И. Эколого-фаунистический анализ земноводных Среднего Поволжья и проблемы их охраны. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Тольятти: ИЭВБ, 2004. 20 с.
16. Чибилёв Е.А. Биология и экология зеленых и бурых лягушек Челябинской городской агломерации // Животные в антропогенном ландшафте: Материалы 1 Международной научно-практической конференции. Астрахань: Издательство Астраханского государственного университета, 2003. С. 73–76.
17. Чубинишвили А.Т. Гомеостаз развития в популяциях озерной лягушки (*Rana ridibunda* Pall.), обитающих в условиях химического загрязнения в районе Средней Волги // Экология. 1998. № 1. С. 71–74.
18. Borkin L.J., Pikulik M.M. The occurrence of polymely and polydactyly in natural populations of Anurans of the USSR // Amphibia-Reptilia. Vol. 7, № 3. 1986. P. 205–216.
19. Dubois A. Anomalies and mutations in natural populations of the *Rana "esculenta"* complex (Amphibia, Anura) // Mitt. Zool. Mus. Berlin. 1979. Bd. 55, H. 1. S. 59–87.
20. Flax N.L., Borkin L.J. High of incidence in anurans in contaminated industrial areas (eastern Ukraine) // Herpetologia bonnensis. 1997. P. 119–123.
21. Guex G.-D., Hotz H., Uzzell T., Semlitsch R. D., Beerli P., Pascolini R. Developmental disturbances in *Rana esculenta* tadpoles and metamorphs // Mitt. Zool. Mus. Berlin., 2001 Bd. 77, H. 1. S. 79–86.
22. Machado C.,A., Schlüter K.A. Polydactyly and polymely in two populations of *Rana temporaria* and *Pelophylax esculentus* (Anura, Ranidae) in southern Germany. // Salamandra, 2010. V. 46(4). P. 239–242.

OCCURRENCE AND MORPHOLOGICAL ANOMALIES VARIETY OF POPULATIONS OF MARSH FROG (ANURA, AMPHIBIA) OF THE MIDDLE VOLGA

© 2012 A.I. Fayzulin

Institute of ecology of the Volga river basin, RAS, Togliatti

In the Middle Volga region in 4 lake frog populations are marked morphological abnormalities of 10 types of external structure: polydactyly, polimeliya, ectromelia, ectrodactyly, absence of eyelids, eyes, the aberrations of pigmentation of the iris. We assessed abnormalities diversity in phenotypic diversity parameters μ and h . 1.65 times-increase in diversity index of anomalies spectrum ($\mu \pm S\mu$) in high antropopress ($2,50 \pm 0,021$) compared to the controls ($1,49 \pm 0,004$) was found.

Key words: anomaly, bioindication, *Rana ridibunda*, the Middle Volga region