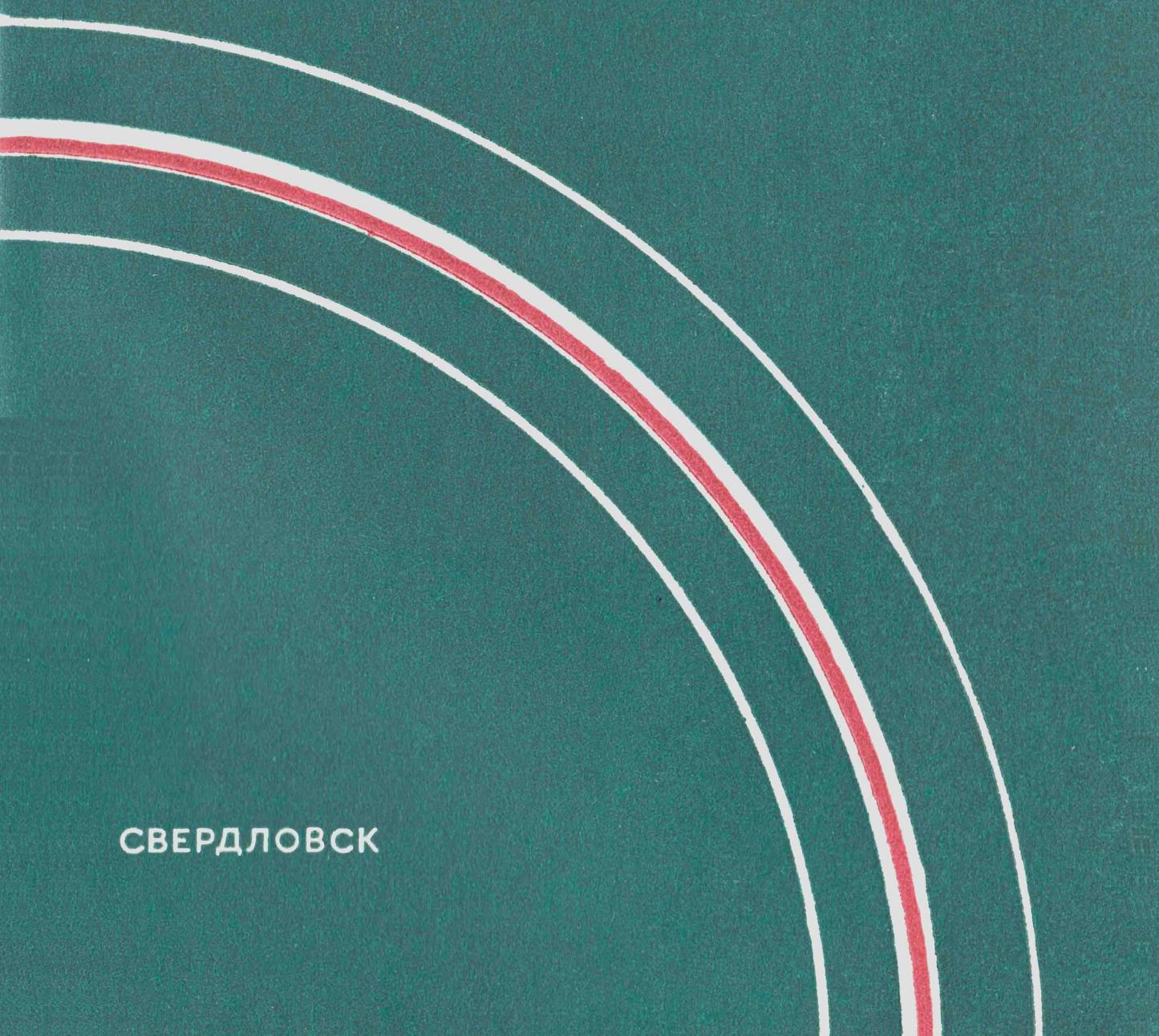


ОЧЕРКИ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ



СВЕРДЛОВСК

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

ОЧЕРКИ
ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
ДИАГНОСТИКЕ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

СВЕРДЛОВСК 1991

УДК 574.502.591

Очерки по экологической диагностике: Сб. науч. трудов.
Свердловск: УрО АН СССР, 1991.—ISBN—5—7691—0114—8.

Рассматриваются актуальные теоретические и прикладные вопросы экодиагностики состояния природных территориальных комплексов. Экодиагностика необходима для определения устойчивости экосистем к антропогенным нагрузкам и составляет необходимый этап прогноза и выработки рекомендаций по оптимизации окружающей среды. В статьях обсуждаются методические, методологические и социальные аспекты вопроса, особенности поражения почвенной флоры и фауны, гидробионтов, наземных растений и биогеоценозов в целом. Ряд работ посвящен экодиагностике популяций и отдельных особей мелких млекопитающих. Описаны диагностически существенные и гигиенически значимые сдвиги в их состоянии. Значительное внимание уделено генетическим оценкам. Исследуются тонкие биохимические изменения, приводящие к диагностически важным и относительно легко определяемым визуально поражениям. В той или иной мере в каждой публикации приводится феноменология, а также рассматривается генез различий показателей в норме и при патологии.

Материалы сборника рассчитаны на экологов, токсикологов и специалистов в области проблем экологизации общественного сознания.

Ответственный редактор
кандидат биологических наук **В. И. Стариченко**

Рецензенты
кандидат биологических наук **О. Ф. Садыков**
доктор медицинских наук **В. И. Токарь**

21005—1717—198(89)
055(02)7 1991

© УрО АН СССР, 1991

В. Л. ВЕРШИНИН, С. Ю. ТЕРЕШИН

**ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ
ВОЗБУДИМЫХ ТКАНЕЙ ОСТРОМОРДОЙ ЛЯГУШКИ
В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗАЦИИ**

В связи с усиливающимися процессами роста и концентрации производства и урбанизации не существует экосистем, в той или иной степени не подверженных влиянию человеческой деятельности. С. С. Шварц [12] отмечал, что микроэволюционные изменения, происходящие в этих условиях, представляют интерес с теоретической точки зрения, поскольку их скорость может быть выше, а направленность иной, нежели в естественных условиях. Привлекают внимание структурно-функциональные особенности популяций антропогенных ландшафтов, а также перспективы их существования на измененных территориях. Связанное с трансформацией среды вымирание отдельных видов, приводящее к полному разрушению биогеоценоза, происходит не в результате непосредственной гибели организмов, а вследствие необратимого разрушения популяционной структуры [11]. Изменения, происходящие под влиянием человеческой деятельности, во многих случаях еще не поддаются прогнозированию.

В сложившейся ситуации нужны надежные методы мониторинга для установления нормативной допустимой нагрузки на биогеоценозы в целях сохранения и поддержания их в состоянии устойчивого равновесия. Это необходимо для нормального воспроизводства человеческого и ряда других возобновимых ресурсов.

Мы располагаем довольно полными данными по распределению амфибий на территории города, их видовому составу и динамике численности для основных мест обитания в городской черте и пригороде. Установлены изменения в генетической и пространственной структуре группировок амфибий в городе, возникающие на основе специфики динамики численности личинок и сеголеток в условиях деградации растительных сообществ, разрушения и загрязнения мест обитания, а также изоляции.

Урбанизация, воздействуя на все этапы жизненного цикла земноводных, приводит к формированию в популяциях специфических черт, одни из которых имеют адаптивное значение

(укрупнение размеров тела, изменение соотношения морф), другие отражают негативные изменения, снижающие устойчивость популяций (высокую смертность, снижение плодовитости, значительную долю морфологических аберраций).

Механизм трансформации естественных группировок земноводных с ростом урбанизации подробно изучен на примере популяций остромордой лягушки [4]. Проведенная работа целиком основывается на популяционных показателях, изучение которых продолжалось в течение ряда лет, что не позволяет проводить экспресс-диагностику состояния окружающей среды.

Известно, что при трансформации среды обитания наблюдаются специфические реакции животных на изменение условий; параллельно — отбор особей с более совершенной морфофизиологической реакцией, и популяции приобретает наследственно закрепленные морфофизиологические особенности. Этот путь энергетически не выгоден. Следующий этап — отбор особей, способных поддерживать энергетический баланс без резко выраженных морфофизиологических приспособлений [13]. Уровень адаптации определяет глубину преобразований в популяции. В связи с этим вполне понятен интерес исследователей к изучению изменчивости функционального состояния возбудимых тканей организма — нервной и мышечной, определяющих подвижность особей и скорость реагирования на внешние факторы, а в конечном итоге — состояние организма в целом и, возможно, устойчивость данного вида в новых условиях.

Один из интегральных показателей функционального состояния возбудимых тканей организма наряду с возбудимостью — аккомодационная способность [9]. Параметр аккомодации отражает уровень функциональной подвижности (или лабильности) ткани и непосредственно зависит от аккомодационной способности отдельных нервных и мышечных волокон [14, 15].

Согласно взглядам А. А. Ухтомского, любая реакция ткани, органа или организма в целом на любое воздействие извне рассматривается как переход на новый уровень равновесного и в то же время неустойчивого состояния, как новое нарушение ранее достигнутого состояния неустойчивого равновесия. Переход от одного уровня неустойчивого равновесия к другому отождествляется А. А. Ухтомским с процессами адаптирования или аккомодирования этой системы к раздражителю. По направленности процесс аккомодации понимается как акт сведения к нулю текущего раздражителя и имеет большое значение для организма. Благодаря способности к аккомодации организм получает возможность реагировать на новые и новые раздражения, настраиваться на новые уровни жизнедеятельности, приспосабливаться к новым условиям существования.

Аккомодационные свойства ткани проявляются в том, что под влиянием падающего на ткань раздражителя порог, в свою очередь, прогрессивно растет. Рост последнего, проявляющийся

под действием раздражения, совершается с известной для каждой ткани скоростью. Константу времени роста порога возбуждения принято считать характеристикой процесса аккомодации в ткани. Скорость аккомодации обозначается $1/\lambda$, а λ принимается за константу аккомодации. Параметр аккомодации служит показателем функциональной устойчивости ткани. Снижение этой устойчивости связано с отклонением абсолютных величин λ от значений оптимума. Увеличение λ свидетельствует о снижении функциональной устойчивости в сторону настройки ткани на режим повторного реагирования на внешнее воздействие, а уменьшение — в сторону торможения функции [9, 10]. Методика аккомодометрии оказалась весьма информативной при сравнительной оценке физиологической активности компонентов сапропелей [5—8], т. е. позволила обнаруживать изменения микроэлементного фона окружающей среды.

Цель настоящей работы — изучение специфики возбудимости и аккомодационной способности остромордых лягушек в условиях различного уровня загрязнения и урбанизации, а также поиск связей исследуемых показателей с некоторыми популяционными характеристиками.

Эксперименты проведены на 18 половозрелых самцах остромордой лягушки *Rana arvalis* Nilss. в течение полевого сезона 1987—88 гг. Животные были взяты из популяций различных зон городского ландшафта, выделяющихся в зависимости от характера застройки, уровня загрязнения и степени освоения территории человеком, охарактеризованных нами ранее [1, 2]. Зоны: I — центральная часть города (лишена земноводных), II — многоэтажной застройки, III — малоэтажной застройки, IV — лесопарковый пояс города. В качестве контроля использовали популяцию с относительно меньшей антропогенной нагрузкой — в 25 км от г. Свердловска. Градиент нагрузки подтверждается данными гидрохимических анализов нерестовых водоемов, выполненных в ПТБ при УралНИИВХ [3]. Отлов животных производили в весенний и летний сезоны года, преимущественно в утренние часы, после чего животных сразу доставляли в электрофизиологическую лабораторию.

Для определения функционального состояния нервной и мышечной тканей у лягушек разрушали центральную нервную систему, готовили препараты обеих нижних конечностей и выдерживали их 30 мин в растворе Рингера следующего состава, mM/l: Na — 113,4; K — 3,25; Ca — 2,70; Cl — 119,7; HCO₃ — 2,38; глюкоза — 5,5; pH — 7,4. После этого определяли реобазу и пороги возбудимости нерва и мышцы при различных градиентах одиночного стимула, учитывая эффект сокращения мышцы. Использовали электростимулятор ЭСЛ-2, аккомодометр и хлорированные серебряные электроды с экранированной камерой. Модифицированная нами схема аккомодометра позволяла регулировать градиент раздражающего стимула путем последо-

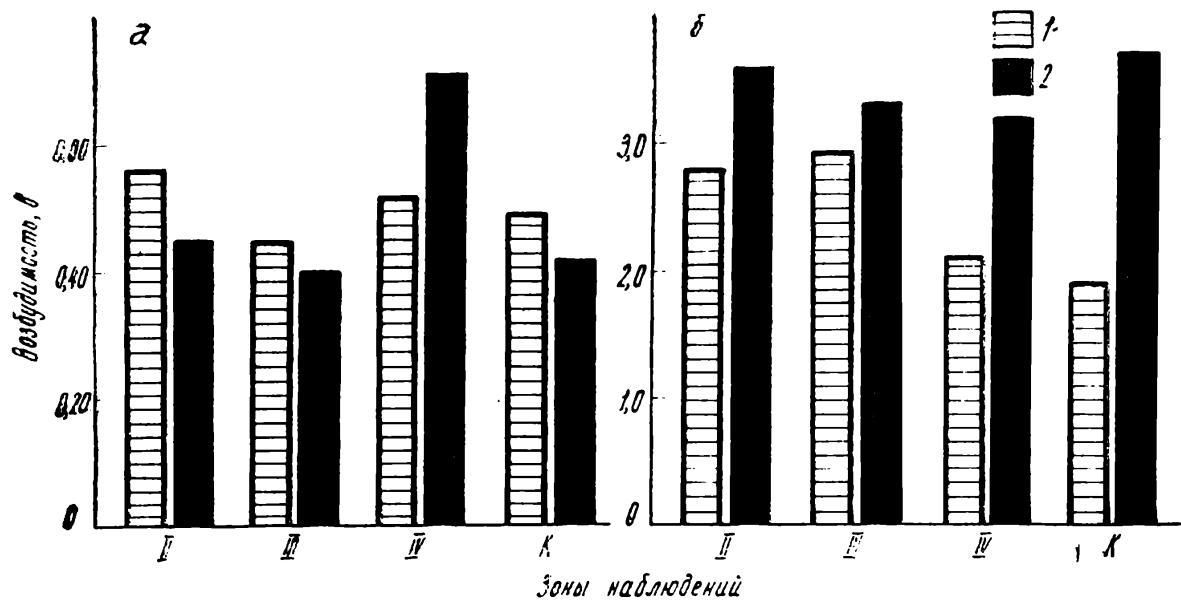


Рис. 1. Возбудимость тканей остромордой лягушки.

Здесь и на рис. 2, 3: а — нервная ткань, б — мышечная; зоны: II — многоэтажной застройки, III — малоэтажной, IV — лесопарк, К — контроль.
1 — возбудимость, 2 — динамика возбудимости.

вательного введения в цепь конденсаторов емкостью 0,001; 0,002; 0,003; 0,004; 0,01; 0,02; 0,03 и 0,05 мкФ. Константу времени роста силы тока $T \cdot (\text{м} \cdot \text{с})$ определили по формуле $T = R \cdot C$, где C — емкость конденсатора в фарадах, R — сопротивление аккомодометра в омах. Для нервной и мышечной ткани применяли сопротивление 500 Ом. Константу аккомодации ткани λ (м/с) вычисляли по формуле: $\lambda V_0 T / V - V_0$, где V_0 — порог ткани для мгновенно нарастающего тока, V — порог ткани для тока, нарастающего со скоростью T . Результаты исследований обработаны на ЭВМ СМ-4 (пакет прикладных программ «Домби»). Установочные данные 1987 г. не включены в статью.

Результаты определения возбудимости нервной и мышечной тканей лягушек различных зон городской территории представлены на рис. 1. Возбудимость нервной ткани лягушек из всех зон города достоверно не отличалась от таковой у животных из контрольной популяции (см. рис. 1а). Возбудимость нервной ткани после ее 30-минутного отмывания в свежем растворе Рингера у животных II и III зон также не отличалась от возбудимости лягушек контрольной группы. Относительно контроля достоверно ($p < 0,05$) сниженной (порог возбуждения повышен) она оказалась только у лягушек IV зоны.

Возбудимость мышечной ткани обладала определенной спецификой (см. рис. 1б). Наибольшая возбудимость (наименьший порог возбуждения) отмечена у лягушек контрольной группы. Животные IV зоны имели несколько меньшую возбудимость мышечной ткани (порог возбуждения выше) в сравнении с контролем, хотя эти различия и были статистически недостовер-

ны. Значительно меньшей возбудимостью (порог возбуждения повышен в 2 и более раза) обладали особи из II и III зон. В этом случае различия с контрольной группой были статистически значимы ($p < 0,05$). Снижение возбудимости у лягушек II и III зон, где на животных оказывается наибольшее антропогенное воздействие, может быть одним из признаков адаптационных изменений физиологических систем организма к неблагоприятным условиям окружающей среды. Следует отметить, что после 30-минутного отмывания препаратов в свежем растворе Рингера значения возбудимости мышечной ткани снизились (пороги возбуждения возросли) у лягушек из всех исследованных зон и, достигнув примерно одного, и того же уровня, уже достоверно не различались между собой. Это, по-видимому, говорит о том, что изменение возбудимости мышечных тканей не носит в данном случае характера необратимых сдвигов.

Таким образом, можно сделать вывод, что картина изменения мышечной возбудимости лягушек при разных уровнях урбанизации отличается от характера изменений возбудимости нервных тканей при тех же условиях. По мере увеличения степени антропогенной трансформации и среды обитания животных возбудимость их мышечной ткани снижается (порог возбуждений для прямоугольных электрических импульсов прогрессивно растет). Вероятно, значения абсолютной возбудимости мышечной ткани амфибий могут служить одним из критериев оценки уровня антропогенного воздействия на популяцию и экосистему. При этом следует учитывать, что выраженность исходных различий возбудимости мышечной ткани у животных складывается по мере увеличения времени выдерживания изолированных нервно-мышечных препаратов в растворе Рингера.

Результаты определения аккомодационной способности нервной и мышечной тканей лягушек из популяций городской черты представлены на рис. 2. Константа аккомодации нервной ткани особей II и IV зон достоверно не отличалась от таковой у контрольных животных (см. рис. 2a). Константа аккомодации у животных из III зоны была статистически значимо ниже ($p < 0,05$) в сравнении с этим показателем в контрольной группе. Константа аккомодации после 30-минутного отмывания нервной ткани в свежем растворе Рингера у лягушек II и III зон не отличалась от значений, полученных на особях из контрольной популяции. Достоверно сниженными ($p < 0,05$) оказались значения константы аккомодации в зоне IV по сравнению с контролем. Таким образом, наибольшей аккомодационной способностью нервной ткани (наименьшие значения константы аккомодации) обладали животные III зоны и (по показателям динамики константы аккомодации) — лягушки IV зоны. Можно полагать, что животные, испытывающие относительно малое (IV зона) и среднее (III зона) по интенсивности антропогенное воздействие, ха-

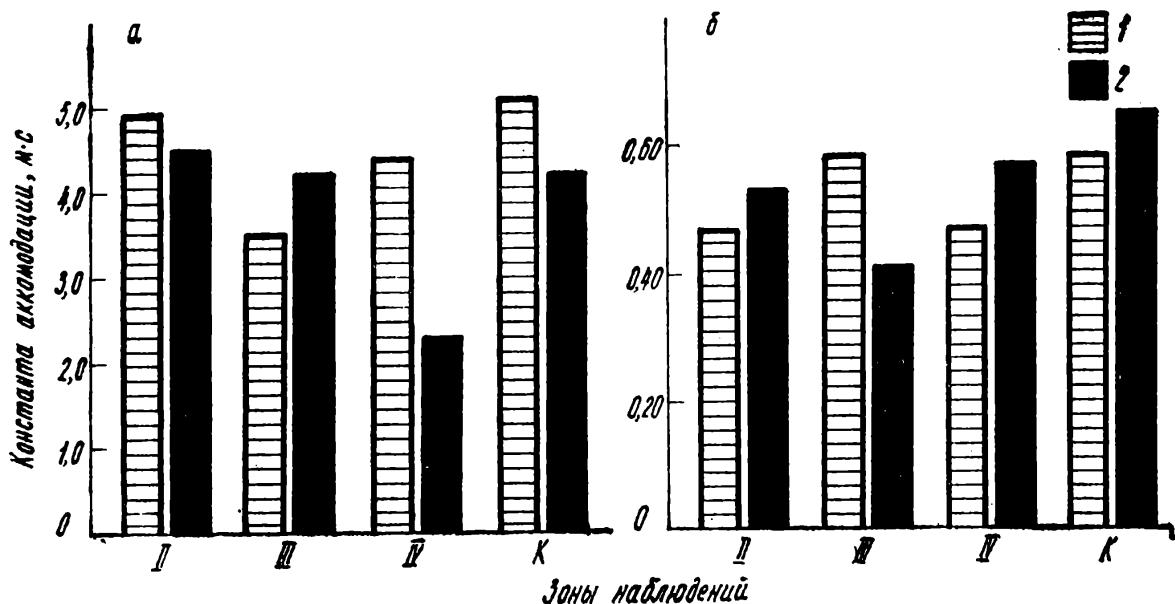


Рис. 2. Константа аккомодации при $T=0,25$ м·с (1) и динамика аккомодации (2).

рактеризуется сравнительно большими адаптационными возможностями нервной системы.

Картина изменения константы аккомодации мышечной ткани в зависимости от уровня урбанизации отличается от таковой для нервной ткани (см. рис. 2б). Наименьшей константой аккомодации (наибольшей аккомодационной способностью) мышечной ткани обладают лягушки контрольной группы и III зоны. Несколько большей аккомодационной способностью (наименьшие значения константы аккомодации) обладали животные II и IV зон города. Константа аккомодации мышечной ткани после 30-минутного ее отмывания в свежем растворе Рингера у лягушек II и IV зон не отличалась от значений показателя у лягушек в контрольной группе. Достоверно сниженной ($p<0,01$) оказалась константа аккомодации у животных III зоны. Как и в случае с нервной тканью, результаты по исследованию аккомодационной способности мышечной ткани свидетельствуют о том, что особи из популяций, испытывающих среднее (III зона) по интенсивности воздействие, характеризуются относительно большими адаптационными возможностями по сравнению с животными контрольной группы и II зоны.

Кроме того, было проведено изучение аккомодационной способности возбудимых тканей лягушек городских территорий при большем градиенте тестирующего стимула ($T=2,5$ м·с, а не 0,25, как в первом случае). Полученные результаты представлены на рис. 3. Константа аккомодации ($T=2,5$ м·с) нервной ткани лягушек всех исследованных зон города достоверно не отличалась от таковой у контрольной группы животных. У животных II и IV зон значения константы аккомодации ($T=$

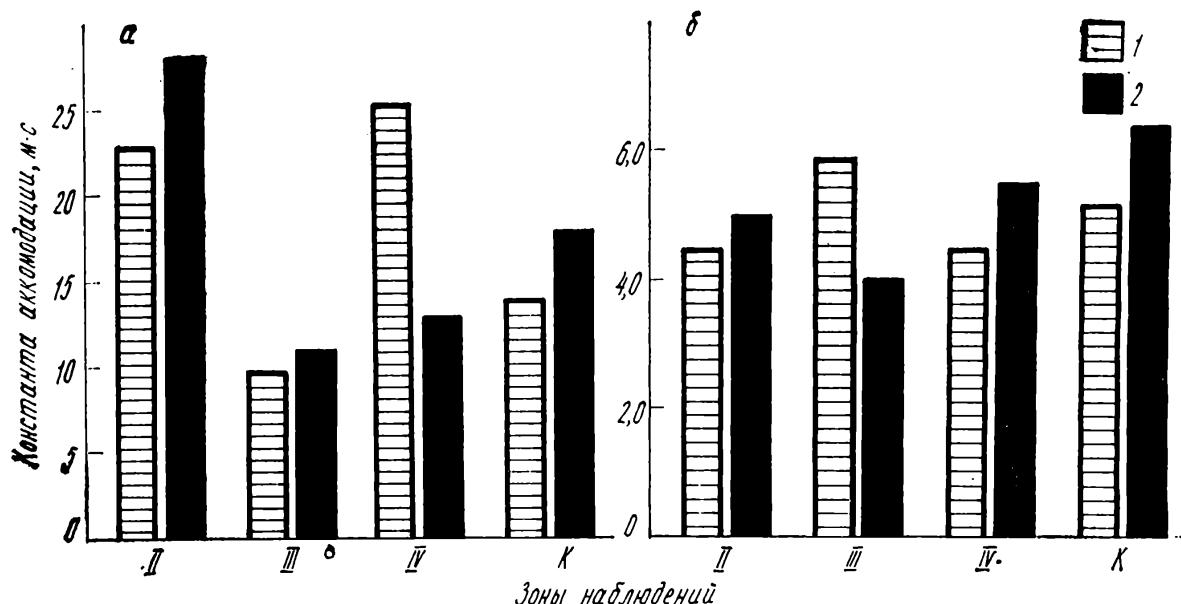


Рис. 3. Константа аккомодации при $T=2,5$ м·с (1) и динамика аккомодации (2).

$=2,5$ м·с) в 1,5—2 раза превосходили таковые в контрольной группе, а у особей III зоны, наоборот, были ниже.

Константа аккомодации мышечной ткани ($T=2,5$ м·с) после 30-минутного ее отмывания в свежем растворе Рингера у лягушек всех зон города достоверно не отличается от таковой у контрольной группы животных.

Итак, установлено, что животные II и III зон обладают низкой мышечной возбудимостью (высоким порогом возбуждения) по сравнению с контрольными — 2,8—3,0 против 1,9 м·с. Это может быть связано с повышением фактора беспокойства в таких популяциях, о чем также свидетельствует высокий индекс сердца сеголеток этих зон [3]. Наблюдаемые различия в возбудимости мышечных тканей и пороге возбуждения свидетельствуют, по-видимому, о том, что кроме выявленных ранее адаптивных изменений на уровне популяций здесь существует физиологическая адаптация на уровне особей, так как после отмывания тканей в растворе Рингера эффект исчезал, а порог возбуждения возрастал.

Константа аккомодации нервных тканей у животных III зоны и ее динамика в зоне IV оказались достоверно ниже (3,4 и 2,4 против 5,2 и 4,2 м·с — в контроле соответственно), что говорит о наивысшей аккомодационной способности, т. е. о наличии адаптивных физиологических изменений на уровне особей при отсутствии значительных достоверных различий на популяционном уровне в тех группировках, где антропогенный пресс не достигает максимальных значений. Сходные результаты получены и по аккомодационной способности мышечной ткани. По-видимому, животные из загородной популяции обладают меньшей аккомодационной способностью, так как обитают вне зоны зна-

чительного антропогенного воздействия, а популяции II зоны сбладают рядом глубоких качественных отличий популяционного ранга, что, вероятно, снижает роль физических адаптаций на уровне особей. По-видимому, мышечная возбудимость может отражать степень беспокойства и уровень загрязненности в условиях урбанизации, а аккомодационная способность позволяет оценить глубину адаптивных изменений в популяциях при антропогенной трансформации среды. В работе представлен первый этап поиска физиологических показателей для экспресс-оценки качества среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вершиин В. Л. Распределение и видовой состав амфибий городской черты Свердловска // Информационные материалы Института экологии растений и животных. Свердловск, 1980. С. 5—6.
2. Вершиин В. Л. Городские группировки земноводных как критерий оценки состояния мелких водоемов // Проблемы экологии Прибайкалья. Иркутск, 1982. Ч. 1. С. 8.
3. Вершиин В. Л. Материалы по росту и развитию амфибий в условиях большого города // Экологические аспекты скорости роста и развития животных. Свердловск, 1985. С. 61—75.
4. Вершиин В. Л. Адаптивные особенности группировок остромордой лягушки в условиях крупного города // Экология. 1987. № 1. С. 46—50.
5. Серов С. И., Терешин С. Ю. Влияние сапропеля озера Молтаево и его фракционных компонентов на аккомодацию нерва и мышцы // Тезисы докладов IV Всероссийского съезда физиотерапевтов и курортологов. М., 1984. С. 39—40.
6. Серов С. И., Терешин С. Ю. Влияние сапропеля озера Молтаево и его компонентов на функциональное состояние нервной и мышечной тканей // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры. 1985. № 1. С. 52—53.
7. Терешин С. Ю. Сравнительная характеристика компонентов озера Молтаево // Актуальные вопросы физиотерапии и курортологии в условиях Западной Сибири. Тюмень, 1979. С. 41—42.
8. Терешин С. Ю., Дацун Л. Б., Волкова Н. А. О биологической активности сапропеля // Проблемы использования сапропелей в народном хозяйстве. Минск, 1981. С. 32—34.
9. Ходоров Б. И. Проблема возбудимости. Л.: Медицина, 1969.
10. Ходоров Б. И. Общая физиология возбудимых мембран. М.: Наука, 1975.
11. Шварц С. С. Экологические основы охраны биосферы // Вестн. АН СССР. 1973. № 9. С. 35—45.
12. Шварц С. С. Проблемы экологии человека // Вестн. АН СССР. 1976. № 12. С. 80—88.
13. Шварц С. С. Экологические закономерности эволюции. М.: Наука, 1980.
14. Bretag A. H., Stampfli R. Differences in action potentials and accomodation of sensory and motor myelinated nerve fibres as computed on the basis of voltage clamp data // Pflugers Arch. 1975. V. 354. P. 257—271.
15. Schlueter W. R. Sensory neurons leech central nervous system: changes in potassium conductance and excitation threshold // J. Neurophysiol. 1976. V. 39, N 6. P. 1184—1192.