

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ СТАТУС ПОДРОСТКОВ ХАБАРОВСКОГО КРАЯ

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF ENVIRONMENTAL COMPONENTS ON THE ELEMENTAL STATUS OF ADOLESCENTS IN KHABAROVSKY KRAI

**A. Nesterenko
G. Evseeva
E. Tselikh**

Summary. The elemental status of an organism depends on the concentration of impurities of chemical elements in the environment which determines the state of health. Aim of the study: to study the level of influence of the chemical composition of soil and water on the elemental status of adolescents living in the Khabarovsk Krai. We conducted a survey of adolescents living in the Okhotsky (n=72) and Nikolaevsky (n=49) districts of the Khabarovsk Krai. We have determined the content of Fe, Cu, Zn, Se, Th and U in hair, water and soil by atomic emission spectroscopy. Results: Significant correlations were found between the content of Fe, Th in hair and water ($r=0.52-0.89$), Fe, Cu, Zn, Se in hair and soil ($r=0.38-0.71$). The value of correlation relationships among adolescents living in the Nikolaevsky region is 1.5 times higher than among teenagers living in the Okhotsky region. Thus, the chemical elements in water and soil influence the formation of the elemental status of adolescents and contribute to the functional state of the body.

Keywords: soil, water, trace elements, teenagers, hair.

Нестеренко Алена Олексовна

Старший преподаватель, Тихоокеанский государственный университет, (г. Хабаровск)
alenushka_3@inbox.ru

Евсеева Галина Петровна

Д.м.н., г.н.с., Хабаровский филиал Дальневосточного научного центра физиологии и патологии дыхания — Научно-исследовательский институт охраны материнства и детства (г. Хабаровск)
evseewa@yandex.ru

Целых Екатерина Дмитриевна

Д.б.н., профессор, Дальневосточный государственный университет путей сообщения (г. Хабаровск)
celixed@mail.ru

Аннотация. Элементный статус организма зависит от концентрации примесей химических элементов в окружающей среде, что, в свою очередь, определяет состояние здоровья. Цель исследования: изучить уровень воздействия химического состава почвы и воды на элементный статус подростков Хабаровского края. Обследованы подростки, проживающие в Охотском (n=72) и Николаевском (n=49) районах Хабаровского края. Содержание Fe, Cu, Zn, Se, Th и U в волосах, воде и почве проведено методом атомно-эмиссионной спектроскопии. Результаты: Достоверные корреляционные взаимосвязи установлены между содержанием Fe, Th в волосах и воде ($r=0,52-0,89$), Fe, Cu, Zn, Se в волосах и почве ($r=0,38-0,71$). Величина корреляционных зависимостей у подростков, проживающих в Николаевском районе в 1,5 раза выше, чем у подростков Охотского района. Таким образом, химические элементы, присутствующие в воде и почве, влияют на формирование элементного статуса подростков, вносят вклад в функциональное состояние организма.

Ключевые слова: почва, вода, микроэлементы, подростки, волосы.

Химический состав компонентов окружающей среды во многом зависит от геохимического фона подстилающей поверхности. Химические элементы, поступающие в почву и воду, включаются в пищевые цепи, конечным звеном которых чаще всего является человек. Поэтому химический состав воды и почвы опосредованно влияет на микроэлементный статус населения [1; 2].

Неравномерное перераспределение химических элементов в окружающей среде, а также загрязнение почв и водоемов, нередко приводит к дисбалансу микроэлементов в организме человека населения [1]. Так,

например, согласно Государственному докладу о состоянии окружающей среды по Хабаровскому краю, практически во всех водных объектах региона присутствуют соединения Fe, Cu и Zn. В 2019 году в результате мониторинга водных объектов выявлено 104 случая высокого и 19 случаев экстремально высокого загрязнения поверхностных вод в Хабаровском крае [3].

Кроме того, в земной коре Охотского и Николаевского районов в результате активного рудогенеза присутствуют радиоактивные элементы (Th, U) [4], которые могут определять элементный статус населения.

Дополнительным отягочающим фактором дисбаланса многих микроэлементов могут служить неблагоприятные условия климата. Например, на севере Хабаровского края средняя температура января достигает -40°C , средняя температура июля $+15^{\circ}\text{C}$, продолжительность залегания снежного покрова в Охотском районе 250–280 дней, в Николаевском 220–240 дней [5].

Достаточное количество макро- и микроэлементов, витаминов обеспечивает поддержание полноценных процессов жизнедеятельности. Особую роль микроэлементы играют во время роста и развития детей. Нами был рассмотрен подростковый период, так как он является одним из критических периодов развития, характеризующихся скачком роста и половым созреванием [1].

Наблюдается рост заболеваемости с 2010 по 2020 гг. подростков в районах компактного проживания (Николаевский и Охотский районы) в 1,5 раза и в 1,2 раза соответственно, при снижении общей заболеваемости подростков в Хабаровском крае в 1,1 раза, что указывает на присутствие у населения данных территорий признаков истощения функциональных резервов организма. В связи с этим особую актуальность приобретает оценка экологического состояния окружающей среды на севере региона в местах компактного проживания подростков и анализ содержания химических элементов в волосах, отражающий длительность и характер их поступления в организм [6].

Цель исследования: изучить уровень воздействия химического состава почвы и воды на элементный статус подростков Хабаровского края.

Материалы и методы

Отбор проб питьевой воды и почвы производился в п. Арка Охотского района и п. Лазарев Николаевского района. Пробы питьевой воды были взяты в водопроводных кранах школ и частных домов ($n=40$) в течение года по сезонам (2019–2020 гг.). Почвенные образцы были взяты на земельных участках ($n=20$). Отбор почвенных образцов производился однократно в осенний период (сентябрь 2019 г.). Отбор проб питьевой воды и образцов почв выполнялся в соответствии с требованиями ГОСТа 56237–2014 «Вода питьевая. Отбор проб на станциях водоподготовки и в трубопроводных распределительных системах», ГОСТа 17.4.4.02–2017 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа».

Проведено обследование подростков ($n=121$), проживающих в Николаевском ($n=49$) и Охотском ($n=72$) районах Хабаровского края, средний возраст $14,60 \pm 0,21$,

$14,57 \pm 0,54$, соответственно. Разрешение Этического комитета Хабаровского филиала ДНЦ ФПД — НИИ ОМид получено на основании «информированного согласия» родителей обследованных детей. Взятие образцов волос у подростков проводилось на базе центральной районной больницы п. Лазарев Николаевского района, п. Арка Охотского района.

Определение примесей Fe, Cu, Se, Zn, Th и U в питьевой воде, почве и волосах проведено методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой, с анализом образцов на приборе ICP-MS Elan 9000 (Канада) в аккредитованной лаборатории на базе Хабаровского инновационно-аналитического центра Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН.

Содержание химических элементов в воде и почве значениям предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно-допустимых концентраций (ОДК) определялось в соответствии с СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Ввиду отсутствия установленных ПДК и ОДК Se были взяты данные нидерландских экологов [7], фоновые значения Th и U по И.Г. Асылбаеву, И.К. Хабирову, И.М. Габбасовой и др. (2017), [8], ПДК Th и U по Руководству ВОЗ (2017) [9].

Содержание исследуемых элементов в волосах сравнивали с российскими референтными значениями по А.В. Скальному [10].

Статистический анализ проводился с использованием стандартных методов вариационной статистики: определение достоверности полученных данных в условиях стандартного нормального распределения для независимых выборок, с использованием коэффициента Стьюдента, с учетом «ошибки средней» — $M \pm m$. Степень связности параметров оценивалась с помощью веса корреляционного графа, рассчитываемого как сумма соответствующих коэффициентов парной корреляции [11].

Для математических расчетов использовались статистический пакет Statistica 10.0 и офисный пакет Microsoft Office Excel 2013 [12].

Результаты и обсуждение

Результаты анализа проб питьевой воды в обследованных районах представлены на рисунке 1.

По результатам исследований питьевой воды Охотского и Николаевского районов установлено соответствие концентраций анализируемых элементов в пробах ПДК.

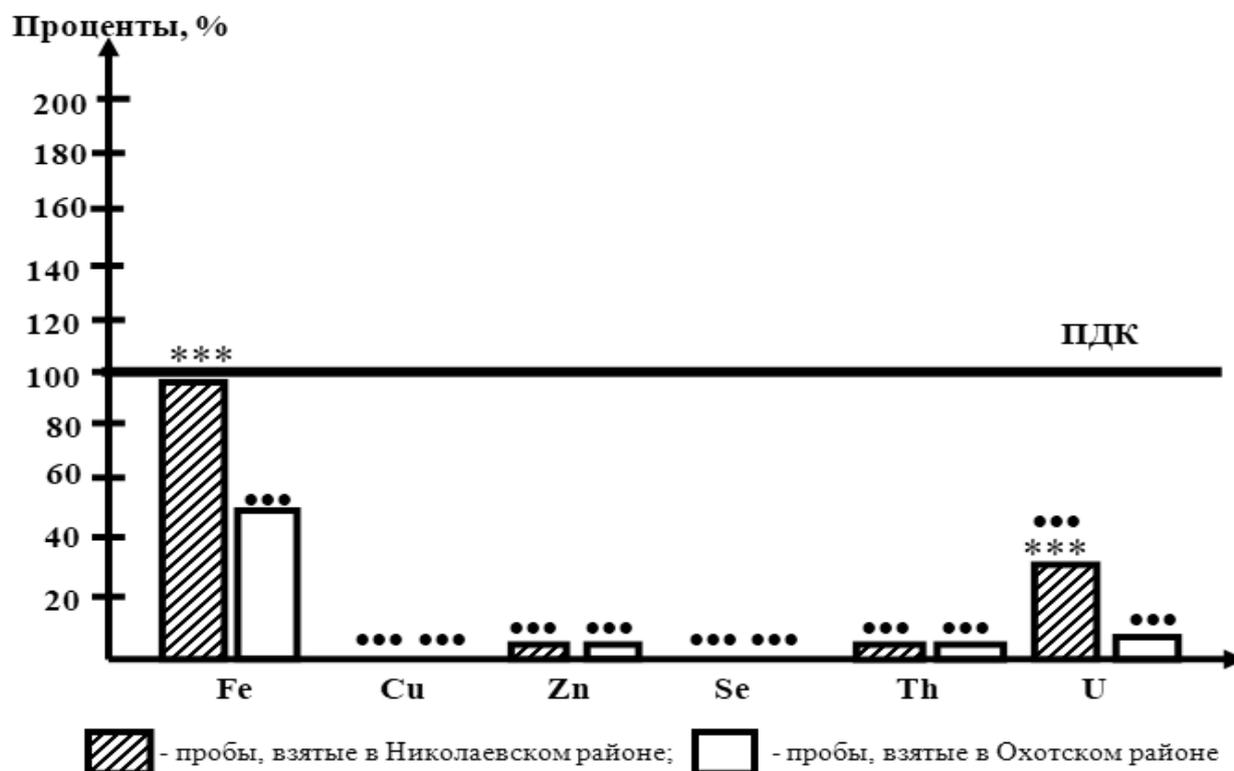


Рис. 1. Концентрация химических элементов в питьевой воде п. Арка Охотского района и п. Лазарев Николаевского района (в процентах,%)

Примечание: здесь и далее: достоверные различия характеристик между районами показаны: $p \leq 0,05$ (*); $p \leq 0,01$ (**); $p \leq 0,001$ (***) ; достоверные различия концентрации химических элементов с ПДК показаны: $p \leq 0,05$ (*); $p \leq 0,01$ (**); $p \leq 0,001$ (***) .

Во всех пробах выявлено высокое содержание Fe и достоверно низкое содержание эссенциальных элементов: Cu, Zn, Se ($p < 0,001$), более выраженное в Охотском районе. В пробах питьевой воды обнаружено содержание радиоактивных элементов (Th и U). Однако концентрация Th и U соответствует нормативам по СанПиН 1.2.3685–21 и Руководству ВОЗ.

Установлены достоверные различия по содержанию Fe и U в питьевой воде между районами: в Николаевском районе концентрация примесей в пробах воды превышает в 2,0 и 5,0 раза, соответственно ($p < 0,001$).

На рисунке 2 представлены усредненные концентрации анализируемых химических элементов в почвах северных районов Хабаровского края.

Концентрация Fe в образцах почв Охотского района соответствовала ПДК, а в Николаевском районе превышала ПДК в 1,8 раза ($p < 0,001$). Концентрация Cu в Охотском районе соответствовала ОДК, в п. Лазарев Николаевского района в 1,2 раза превышала ОДК (в 80% проб содержание превышало ОДК).

Во всех образцах почв установлено избыточное содержание Zn: в Охотском районе превышение ПДК составило 7,9 раза (6,2–9,0, $p < 0,001$), в Николаевском районе (2,8–3,1, $p < 0,001$).

Биогеохимическая провинция Хабаровского края бедна по содержанию Se, что подтвердил анализ почвенных образцов [1].

Рудогенез, активно протекающий в Николаевском районе, является источником высоких концентраций радиоактивных элементов в почвах [4], что подтверждают результаты исследования: превышение концентрации Th в 1,95 раза в сравнении с ПДК. Концентрация Th в почвах Охотского района ниже фоновых значений. Содержание U в почвенных образцах не превышало фоновых значений по всем исследуемым районам.

Концентрация Fe, Cu, Th и U в почвенных образцах Николаевского района достоверно выше в сравнении с образцами Охотского района ($p < 0,001$), а содержание эссенциальных микроэлементов (Zn, Se) ниже ($p < 0,001$).

Таблица 1. Концентрация (M±m) микроэлементов в волосах (мкг) подростков Хабаровского края

Микроэлемент	Fe	Cu	Zn	Se	Th	U
Референтные значения	5,0–25	8–12	94–183	0,5–1,5	<0,001	0,003
Подростки Охотский район	23,55± 2,75▲▲▲	8,32± 0,51▲	136,3± 10,51▲▲▲	0,2218± 0,003▲▲▲	0,0017± 0,0009***▲	0,0026± 0,0007
Подростки Николаевский район	54,25± 8,38***	5,23± 0,70	246,58± 29,81***	0,011± 0,001	0,014± 0,001***	0,027± 0,003

Примечание: норматив Th и U в волосах — по Наркович Д.В. (2012), нормативы содержания в волосах показаны по Оберлис Д., Харланд Б., Скальному А. (2008); превышение физиологического норматива выделено жирным шрифтом; концентрация микроэлемента, соответствующая верхней границе норматива, выделена курсивом. Различие с границей физиологического норматива достоверно: при p≤0,05 (*); при p≤0,01 (**); при p≤0,001 (***) ; различие между подростками николаевского и Охотского районов достоверно при p≤0,05 (▲); при p≤0,01 (▲▲); при p≤0,001 (▲▲▲).

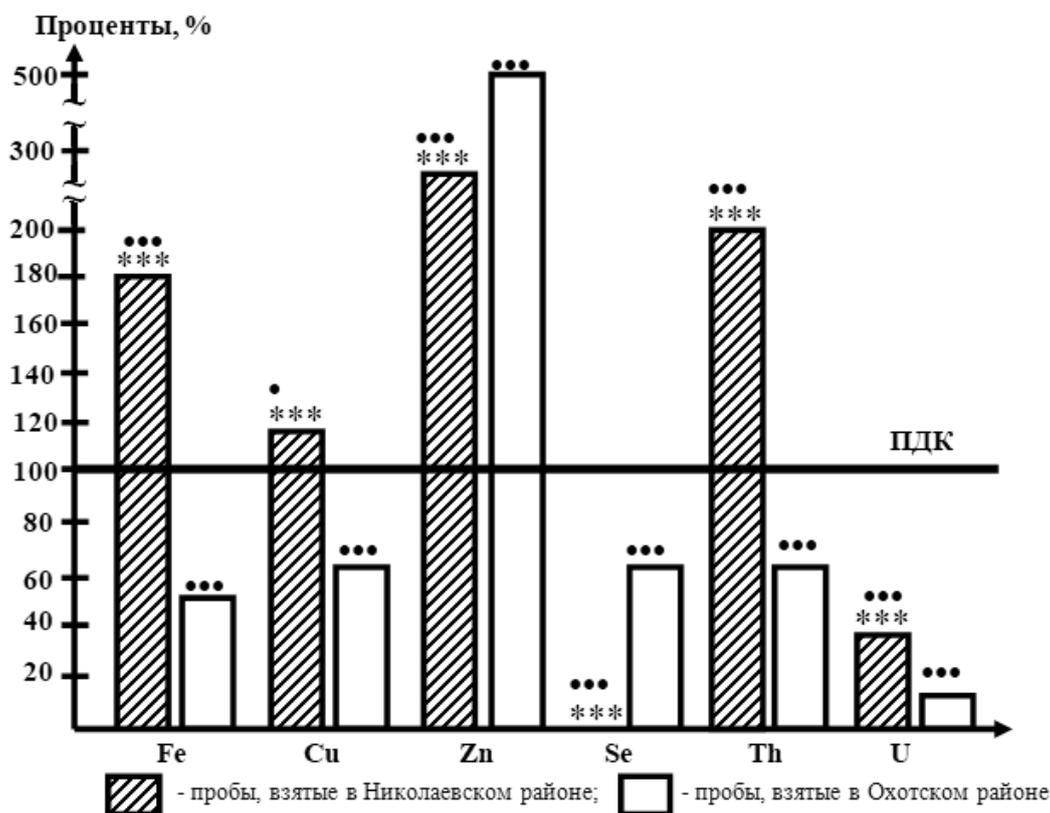


Рис. 2. Концентрация химических элементов в почвах п. Арка Охотского района и п. Лазарев Николаевского района (в процентах,%)

Таким образом, в Николаевском районе установлен более выраженный дисбаланс микроэлементов в окружающей среде, связанный с избытком радиоактивных и токсичных веществ и дефицитом эссенциальных элементов.

Микроэлементы поступают в организм не только с водой, но и с питанием. Ранее нами были проведены

исследования по анализу рациона населения севера Хабаровского края [13]. Химические элементы, поступающие в организм из окружающей среды (вода, продукты питания, воздух), аккумулируются в таких биологических субстратах, как волосы (таблица 1).

В результате элементного анализа волос выявлена высокая концентрация Fe в группе подростков Никола-

евского района, превышающая средние значения в 2,2 раза. Концентрация Fe в волосах подростков Охотского района в пределах референтных значений.

Содержание Cu в волосах на нижней границе норматива среди подростков Охотского района и в 1,5 раза ниже по сравнению с референтными значениями среди подростков Николаевского района ($p < 0,001$).

Анализ содержания Zn в волосах выявил превышение верхней границы норматива в волосах подростков Николаевского района в 1,3 раза ($p < 0,001$). В Охотском районе концентрация Zn в волосах соответствовала пределам референтных значений.

Содержание Se дефицитно в волосах всех обследуемых групп ($p < 0,001$).

Установлены высокие концентрации Th в волосах всех групп по сравнению с референтными значениями ($p < 0,001$).

Выявлена концентрация U в пределах верхней границы физиологического норматива в волосах всех групп и является пограничным показателем (таблица 1), который при длительном действии может приводить к дисфункциональным состояниям организма.

В результате анализа элементного состава проб питьевой воды, почвы и образцов волос подростков, проживающих в северных районах Хабаровского края с различными климатическими условиями, были установлены достоверные корреляционные взаимосвязи. Значимые прямые зависимости содержания микроэлементов в компонентах окружающей среды (питьевая вода, почва) установлены для Zn ($r = 0,86$, $p < 0,05$), Fe ($r = 0,59$, $p < 0,05$), и U ($r = 0,9$, $p < 0,05$).

Достоверные корреляционные зависимости между содержанием элементов в волосах и окружающей среде выявлены между содержанием Fe, Th в волосах и воде

($r = 0,52 - 0,89$, $p < 0,05$), Fe, Cu, Zn, Se в волосах и почве ($r = 0,38 - 0,71$, $p < 0,05$).

Согласно литературным данным, при действии неблагоприятных факторов среды (экологические условия, климат и др.) сила корреляционных связей между различными параметрами организма повышается [14].

Анализ корреляционных взаимоотношений содержания элементов в волосах обследованных подростков, с использованием метода корреляционной адаптометрии, показал, что величина корреляционного графа у детей, проживающих в Николаевском районе в 1,5 раза выше по сравнению с подростками Охотского района. Данная методика позволяет дать количественную оценку уровня здоровья населения и прогнозировать возможные неблагоприятные изменения в состоянии здоровья.

Таким образом, анализ питьевой воды показал, что пробы соответствуют ПДК, однако в ряде случаев выявлено превышение концентрации Fe и низкие концентрации эссенциальных микроэлементов Cu, Zn, Se, связанные с дисбалансом других микроэлементов в окружающей среде. Дисбаланс анализируемых элементов в образцах почв Николаевского района более выражен по сравнению с образцами Охотского района. Установленные корреляционные зависимости между волосами подростков, водой и почвой, взятой с территории их проживания, свидетельствуют о весомом влиянии компонентов окружающей среды на элементный статус подростков Хабаровского края.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод элементный дисбаланс в окружающей среде отражается на содержании химических элементов в биосубстратах подростков, проживающих на территориях геохимических аномалий, и может являться фактором риска развития экологически обусловленных заболеваний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евсеева Г.П. Экологическое воздействие качества окружающей среды Хабаровского края на уровень заболеваемости детского населения / Г.П. Евсеева, С.В. Пичугина, Е.И. Яковлев и др. // Региональные проблемы, 2018. — Т. 21. — № 4. — С. 93–100.
2. Витковский Ю.А. Влияние антропогенных геохимических факторов среды обитания на элементный статус детей п. Хапчеранга (Восточное Забайкалье) / Ю.А. Витковский, Л.А. Михайлова, Е.А. Бондаревич и др. // Забайкальский медицинский вестник, 2018. — № 2. — С. 14–23.
3. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2019 году / под ред. А.А. Сабитова. Хабаровск, 2020. — 286 с.
4. Коковкин А.А. Новейшая структура Сихотэ-Алинского орогена, ме-таллогения Сихотэ-Алинской рудной провинции / А.А. Коковкин // Региональная геология и металлогения, 2013. — № 53. — С. 1–9.
5. Климат Хабаровского края [электронный ресурс]: <http://www.geogr.msu.ru/avalanche/federation/hab.doc/hab.htm> (дата обращения 01.07.2022).
6. Рафикова Ю.С. Содержание ртути в волосах населения геохимической провинции / Ю.С. Рафикова, И.Н. Семенова, Р.Ф. Хасанова и др. // Гигиена и санитария, 2019. — Т. 98. — № 12. — С. 1349–1354.

7. Crommentuijn T. Maximum Permissible Concentrations and Negligible Concentrations for metals, taking background concentrations into account / T. Crommentuijn, M.D. Polder, E.J. Van de Plassche // RIVM Report 601501001. Bilthoven, Netherlands, 1997. — 260 p.
8. Асылбаев И.Г. Геохимия урана и тория в почвах Южного Урала / И.Г. Асылбаев, И.К. Хабилов, И.М. Габбасова и др. // Почвоведение, Российская академия наук (Москва), 2017. — № 12. — С. 1468–1476.
9. Руководство по обеспечению качества питьевой воды: 4-е изд. [Guidelines for drinking-water quality — 4th ed.]. Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2017. — 604 с.
10. Скальный А.В., Быков А.Т. Эколого-физиологические аспекты применения макро- и микроэлементов в восстановительной медицине / А.В. Скальный, А.Т. Быков. — Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2003. — 198 с.
11. Разжевайкин В.Н. Модельное обоснование корреляционной адаптометрии с применением методов эволюционной оптимальности / В.Н. Разжевайкин, М.И. Шпитонков // Журнал вычислительной математики и математической физики, 2003. — Т. 3. — № 2. — С 308–320.
12. Ермолаев О.Ю. Математическая статистика для психологов / О.Ю. Ермолаев. — М.: Московский психол.-соц. ин-т. Из-во Флинт, 2003. — С. 19–72.
13. Нестеренко А.О. Анализ элементного состава сыворотки крови и волос подростков разных этнических групп хабаровского края на фоне рациона питания и техногенного загрязнения территории / А.О. Нестеренко, Е.Д. Целых, Н.К. Христофорова и др. // Сеченовский вестник, 2018. — № 2. — С. 26–32.
14. Горбань А.Н. Динамика корреляций между физиологическими параметрами и экологоэволюционный принцип полифакториальности / А.Н. Горбань, В.Т. Манчук, Е.В. Петушкова // Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем. — Л.: Гидрометеоиздат, 1987. — Т. 10. — С. 187–198.

© Нестеренко Алена Олексовна (alenushka_3@inbox.ru),

Евсеева Галина Петровна (evseewa@yandex.ru), Целых Екатерина Дмитриевна (celixed@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Тихоокеанский государственный университет