



## ЭКОЛОГИЯ

УДК 631.445.4

И.С. Коротченко, Н.Н. Кириенко

### ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧНОСТИ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО, ЗАГРЯЗНЕННОГО МЕДЬЮ

*В результате проведения лабораторно-вегетационного опыта по оценке влияния уровня загрязнения чернозема выщелоченного ионами меди на показатели его фитотоксичности была установлена прямая зависимость между концентрацией исследуемого загрязнителя и степенью уменьшения показателей тест-растений – энергии прорастания, всхожести семян и длиной побега, корня.*

**Ключевые слова:** чернозем выщелоченный, медь, фитотоксичность, энергия прорастания, всхожесть семян, тест-растения, морфометрические параметры проростков.

I.S. Korotchenko, N.N. Kiriyenko

### THE PHYTOTOXICITY ASSESSMENT OF THE LEACHED CHERNOZEM POLLUTED BY COPPER

*As a result of conducting laboratory-vegetative experiment on the influence assessment of the leached chernozem level of pollution by the copper ions on indicators of its phytotoxicity, the direct dependence between the concentration of the studied pollutant and the indicator reduction extent of test-plants – energy of sprouting, seed germination and the length of sprout and root is established.*

**Key words:** leached chernozem, copper, phytotoxicity, energy of sprouting, seed germination, test-plants, sprout morphometric parameters.

**Введение.** Развитие и функционирование промышленности, энергетики, коммунальных служб, транспорта на территории городов негативно сказываются на их экологическом состоянии. Среди большинства элементов и веществ, загрязняющих окружающую среду, в силу высокой потенциальной опасности особое место принадлежит тяжелым металлам. Эти химические элементы, накапливаясь в организме человека, оказывают токсичное действие на его здоровье и могут привести даже к мутагенному и канцерогенному эффекту [5, 10].

При попадании тяжелых металлов в почву происходит трансформация их первичных форм, вертикальное и горизонтальное перераспределение. Способность металлов к миграции приводит к более быстрому поступлению к корневищам растений, в результате чего они попадают в пищевую цепочку почва–растение–животное, человек.

Фитотоксичное действие тяжелых металлов проявляется, как правило, при высоком уровне техногенного загрязнения почв и во многом зависит от свойств и особенностей поведения конкретного металла. Поступление тяжелых металлов в растения через корневую систему зависит прежде всего от количества этих металлов в почве [7, 13].

Коэффициент корреляции между содержанием металлов в растениях и исследуемыми показателями при разных условиях (тип почвы, влажность, кислотность и др.) может быть достаточно высок – в некоторых случаях превышает величину 0,80 [12]. Отмечено как линейное, так и нелинейное возрастание содержания металлов при увеличении их концентрации в растворах или питательных средах [6, 8].

В настоящее время все большее значение приобретает разработка методов оценки антропогенного воздействия на почву. В практике мониторинга почв наиболее распространенным подходом остается анализ уровней концентраций токсичных соединений с использованием физико-химических методов. Однако с такими оценками ассоциировано слишком много неопределенностей, в частности, он не учитывает возможности возникновения синергических и антагонистических эффектов при одновременном воздействии нескольких неблагоприятных факторов. С помощью растений можно проводить биоиндикацию всех природных сред. Индикаторные растения используются при оценке механического и кислотного состава почв и их плодородия, увлажнения и засоления, степени минерализации грунтовых вод и степени загрязнения атмосферного воздуха, а также водоемов и почв. Чувствительные фитоиндикаторы указывают на присутствие загрязняющего вещества ранними морфологическими реакциями [11].

**Цель исследований.** Оценка влияния уровня загрязнения чернозема ионами меди на показатели его фитотоксичности.

**Объекты и методы исследований.** В качестве модельных объектов исследования выбраны кресс-салат сорта Неделька, горчица белая сорта Подольнка и чернозем выщелоченный. В лабораторно-вегетационном эксперименте изучалось влияние на жизнеспособность тест-растений (кресс-салата и горчицы) загрязнения почвы медью в дозах от 1 до 5 и 10 ПДК. Варианты модельного загрязнения: 0 – контроль; I (1 ПДК Cu); II (2 ПДК Cu); III (3 ПДК Cu); IV (4 ПДК Cu); V (5 ПДК Cu); VI (10 ПДК Cu). Расчет концентраций тяжелых металлов произведен согласно данным ПДК, приведенным гигиеническими нормативами (2006). Растения выращивались в сосудах емкостью 1 кг в теплице, в искусственно созданных условиях (22–25 °С, относительная влажность воздуха 60–70 %). Для закладки опыта использовали почву пахотного слоя, взятую с полей СПК «Зыковский». В качестве фона вносили  $\text{NH}_3\text{NO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{KNO}_3$ , которые в почвенных условиях являются физиологически нейтральными удобрениями [9]. Медь вносилась в виде хорошо растворимой соли  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  в концентрациях 1–5 ПДК и 10 ПДК. В каждую емкость сеяли по 30 семян, повторность опыта четырехкратная. На 3-е сутки проращивания определяли энергию прорастания, на 5-е – всхожесть семян для кресс-салата и на 6-е сутки – для горчицы согласно методике ГОСТ 12038-84 [3].

Для оценки достоверности влияния загрязнения медью на исследуемые показатели использовали дисперсионный анализ. В целях удобства интерпретации его результатов вычисляли наименьшую существенную разность (НСР 0,5). Для изучения тесноты и формы связи между содержанием в почве тяжелых металлов и исследуемыми показателями использовали корреляционный анализ. Статистическую обработку проводили при помощи пакета Microsoft Excel 97 для Windows и компьютерного пакета статистических программ «Snedecor».

**Результаты исследований и их обсуждение.** В качестве одного из методов фитотестирования используется оценка жизнеспособности семян растений, так как семена наиболее чутко реагируют на специфические стрессовые факторы, к которым не успело адаптироваться растение во время экогенеза [1]. Наиболее общими параметрами оценки жизнеспособности семян являются энергия прорастания, всхожесть.

Эффект действия тяжелых металлов на прорастание зависит от их способности проникать через покровы семян и влиять на различные физиологические процессы, связанные с прорастанием [4].

В лабораторно-вегетационном эксперименте установлено существенное влияние модельной загрязненности почв тяжелыми металлами на энергию прорастания и всхожесть семян кресс-салата сорта Неделька и на 6-е сутки горчицы белой сорта Подольнка.

Выявлено, что по сравнению с контролем происходит достоверное снижение ( $P < 0,05-0,001$ ) энергии прорастания семян кресс-салата при внесении меди в дозе 2 ПДК и выше. Так, разница с контролем у второй (2 ПДК Cu) опытной группы составляла 4,0 абс. %, или 8,0 %, у третьей (3 ПДК Cu) – 26,8 абс. %, или 53,5 %; у четвертой (4 ПДК Cu) – 30,9 абс. %, или 61,7 %, у пятой (5 ПДК Cu) – 35,9 абс. %, или 71,7 %, у шестой (10 ПДК Cu) – 40,7 абс. %, или 81,2 % соответственно.

Достоверное снижение ( $P < 0,001$ ) всхожести семян по сравнению с контролем наблюдалось при внесении солей меди в почву в дозе 3 ПДК (у третьей опытной группы) и выше. Отмечено постепенное уменьшение данного показателя с увеличением в почве концентрации меди. Если при загрязнении чернозема в дозе 2 ПДК металла разница с контролем составляла 4,3 %, при 5 ПДК – 35,3 %, то при 10 ПДК всхожесть была ниже контроля почти в 5 раз (рис. 1).

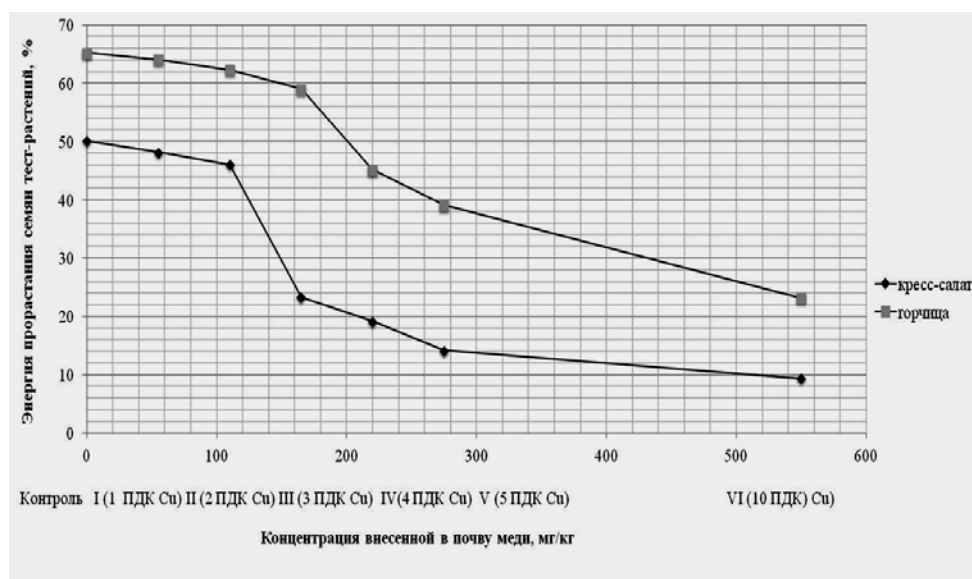


Рис. 1. Влияние загрязнения почвы медью на энергию прорастания семян кресс-салата и горчицы белой

При оценке воздействия меди на энергию прорастания горчицы белой получены следующие результаты. Достоверная разница с контролем по данному показателю установлена только при внесении в почву солей тяжелого металла в дозе 3 ПДК и выше. Так, в третьей группе (3 ПДК Cu) она составила 9,5 %, четвертой (4 ПДК Cu) – 30,7 %, пятой (5 ПДК Cu) – 40 %, 10 ПДК – 2,8 раза (рис. 2).

Подобные данные наблюдались и по всхожести семян горчицы. Достоверная разница с контролем отмечалась у третьей, четвертой, пятой и шестой опытных групп и составляла 7,8–69,0 абс. %, или 8,2–42,5 отн. %.

Таким образом, показано более выраженное ингибирующее действие высоких концентраций в почве меди на энергию прорастания и всхожесть семян кресс-салата, чем на горчицу белую.

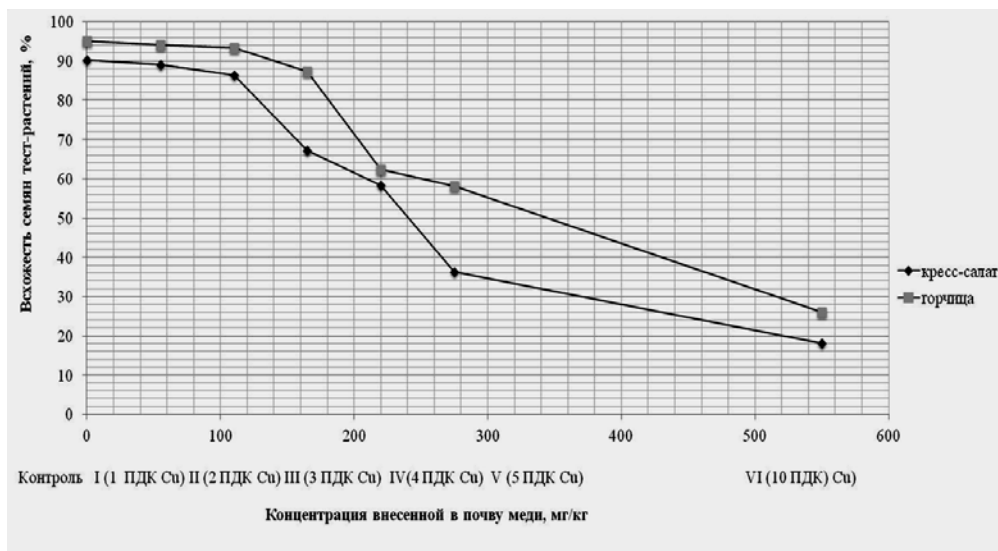


Рис. 2. Влияние загрязнения почвы медью на всхожесть семян кресс-салата и горчицы белой

Для определения фитотоксичности почвы с разной концентрацией меди использовали метод учета энергии прорастания семян тест-растений в опытных вариантах, выраженной в процентах к контролю по А.И. Федоровой (2001) по следующей шкале: 100 % – нет токсичности, 80–90 % – очень слабая токсичность, 60–80 % – слабая, 40–60 % – средняя, 20–40 % – высокая токсичность, 0–20% – очень высокая токсичность.

Чернозем выщелоченный по отношению к кресс-салату при содержании меди до 3 ПДК не токсичен, при 3 ПДК обладает средней токсичностью, 4 ПДК и 5 ПДК – высокая токсичность, 10 ПДК – очень высокая токсичность. Для горчицы чернозем выщелоченный, загрязненный медью до 3 ПДК включительно, не токсичен, 4–5 ПДК – слаботоксичен, при 10 ПДК меди – высокотоксичен (табл. 1).

По данным И.С. Коротченко, Г.Г. Первышиной (2010), фитотоксичность чернозема выщелоченного, загрязненного медью (снижение урожайности культуры на 10 % и более), по отношению к моркови установлена при концентрации его в опытной почве более 116 мг/кг и выше. При максимальной дозе меди (290 мг/кг) урожай снизился почти на 25 %.

Таблица 1

**Фитотоксичность чернозема выщелоченного, загрязненного медью**

Вариант модельного загрязнения	Кресс-салат		Горчица белая	
	Энергия прорастания, % к контролю	Фитотоксичность	Энергия прорастания, % к контролю	Фитотоксичность
I (1 ПДК Cu)	96,2	Не токсичен	98,3	Не токсичен
II (2 ПДК Cu)	92	Не токсичен	95,6	Не токсичен
III (3 ПДК Cu)	46,5	Средняя токсичность	90,5	Не токсичен
IV (4 ПДК Cu)	38,3	Высокая токсичность	69,3	Слабая токсичность
V (5 ПДК Cu)	28,3	Высокая токсичность	60,1	Слабая токсичность
VI (10 ПДК Cu)	18,8	Очень высокая токсичность	35,6	Высокая токсичность

Морфометрические параметры тест-растений измеряли на 10-й день проращивания. Учитывалась длина проростка и длина главного корня (рис. 3).

Установлено, что по сравнению с контролем происходит достоверное снижение ( $P < 0,05-0,001$ ) длины побега проростков кресс-салата при внесении меди в дозе 2 ПДК и выше. Так, разница с контролем у второй (2 ПДК Cu) опытной группы составляла 0,8 мм, или 11,9 %, у третьей (3 ПДК Cu) – 2,6 мм, или 38,8 %; у четвертой (4 ПДК Cu) – 2,9 мм, или 43,2 %, у пятой (5 ПДК Cu) – 4,0 мм, или 59,7 %, у шестой (10 ПДК Cu) – 5,3 мм, или 79,1 % соответственно.

Достоверное снижение ( $P < 0,05$  и  $0,001$ ) длины главного корня у кресс-салата по сравнению с контролем наблюдалось при внесении солей меди в почву в дозе 3 ПДК (у третьей опытной группы) и выше. Отмечено постепенное уменьшение данного показателя с увеличением в почве концентрации меди. Если при загрязнении чернозема в дозе 3 ПДК металла разница с контролем составляла 31 %, при 4 ПДК – 48,2 %, 5 ПДК – 62 %, то при 10 ПДК длина главного корня была ниже контроля в 3,6 раза.

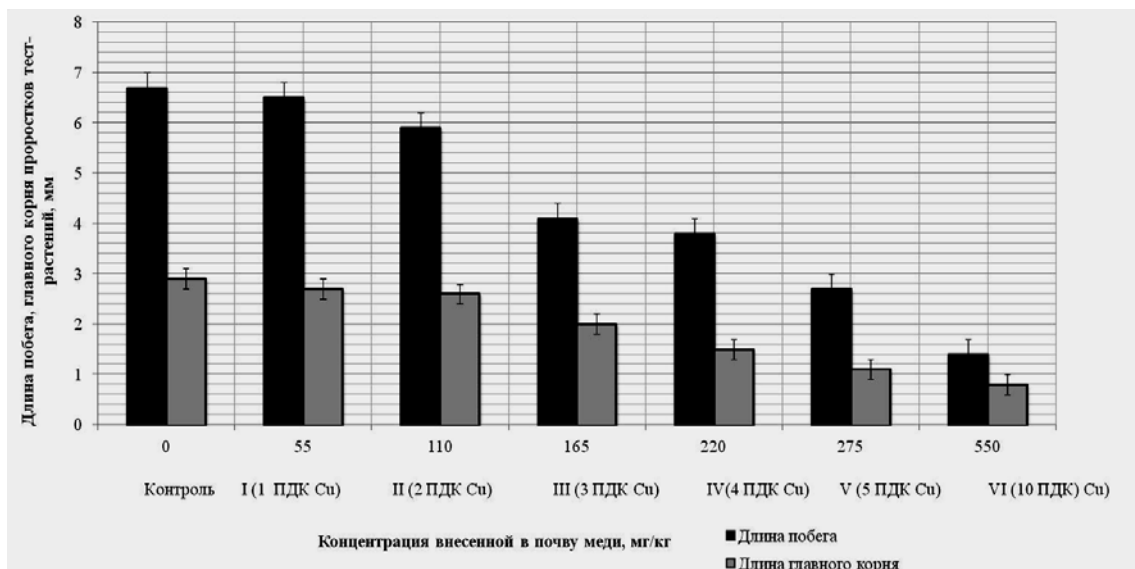


Рис. 3. Влияние загрязнения почвы медью на длину побега и главного корня проростков кресс-салата

Анализируя данные по воздействию меди на длину побега проростков горчицы, обнаружили достоверную разницу с контролем только при внесении в почву солей тяжелого металла в дозе 3 ПДК и выше. Так, в третьей группе (3 ПДК Cu) она составила 0,7 мм, или 9,5 %, четвертой (4 ПДК Cu) – 1,9 мм, или 18,4 %, пятой (5 ПДК Cu) – 4,1 мм, или 39,8 %, шестой (10 ПДК) – 5,5 мм (2,1 раза) (рис. 4).

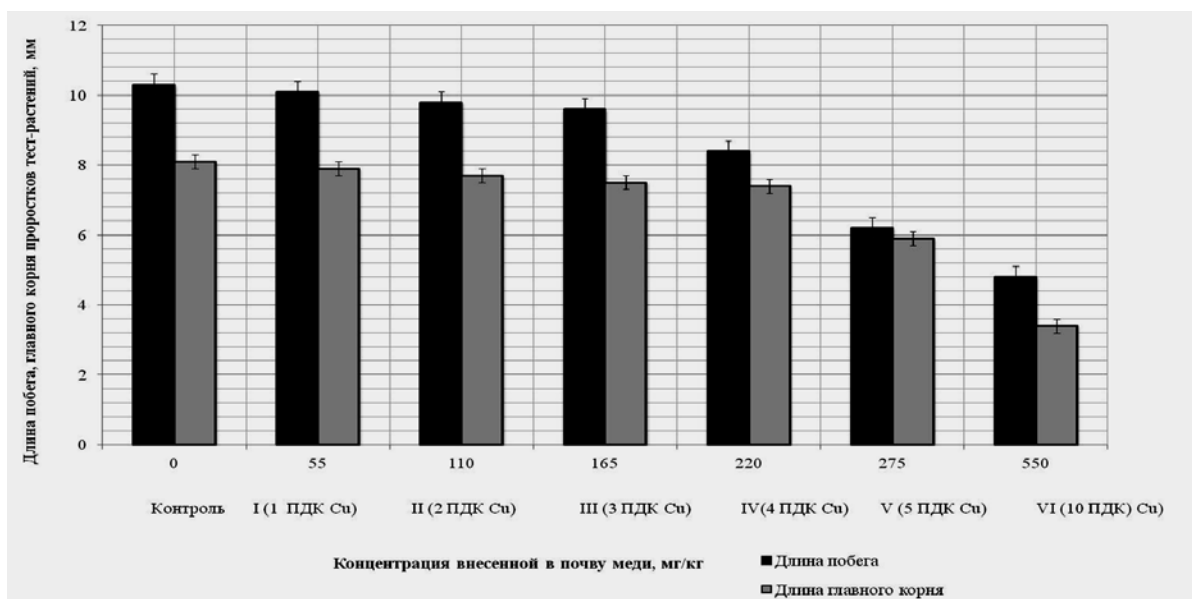


Рис. 4. Влияние загрязнения почвы медью на длину побега и главного корня проростков горчицы белой

Подобные данные получены и по длине главного корня проростков горчицы. Достоверная разница с контролем отмечалась у четвертой, пятой и шестой опытных групп и составляла 0,7–4,7 мм, или 8,6–58 %.

Очевидно, что более выражено угнетающее воздействие высоких концентраций в почве меди на длину проростков и длину главного корня кресс-салата, чем горчицы белой. В целом следует отметить более сильное ингибирование проростков, чем корней тест-растений.

На загрязненных медью почвах причиной гибели растений и снижения продуктивности сельскохозяйственных культур являются ухудшение свойств почвы и непосредственное токсическое действие поллютантов на растения [6].

Наиболее сильная корреляционная связь установлена между концентрацией поллютанта и жизнеспособностью кресс-салата ( $R^2=0,84-0,93$ ), данный показатель у горчицы находился в пределах 0,74–0,93 (табл. 2).

Таблица 2

**Уравнения регрессии зависимости показателей жизнеспособности семян тест-растений от концентрации меди в черноземе выщелоченном**

Тест-растение	Энергия прорастания	Всхожесть	Длина побега	Длина главного корня
Кресс-салат	$y = -0,0844x + 67,729$ $R^2=0,9353$	$y = -0,1385x + 101,01$ $R^2=0,9348$	$y = -0,0105x + 6,4957$ $R^2=0,8943$	$y = -0,0042x + 2,7674$ $R^2=0,8466$
Горчица белая	$y = -0,0829x + 46,359$ $R^2=0,7468$	$y = -0,1473x + 92,583$ $R^2=0,9104$	$y = -0,0112x + 10,649$ $R^2=0,8942$	$y = -0,0089x + 8,5913$ $R^2=0,931$

### Выводы

1. В результате изучения токсичного действия возрастающих концентраций ионов меди установлено ингибирующее воздействие солей меди на жизнеспособность тест-растений, что выразилось в уменьшении энергии прорастания и всхожести семян, морфометрических параметрах проростков. Резкое и негативное воздействие на данные параметры оказало внесение меди – для кресс-салата в дозе 3 ПДК, горчицы белой в дозе 4 ПДК.

2. Чернозем выщелоченный для кресс-салата при содержании меди до 3 ПДК не токсичен, при 3ПДК обладает средней токсичностью, 4 ПДК и 5 ПДК – высокая токсичность, 10 ПДК – очень высокая токсичность. Для горчицы белой почва, загрязненная медью до 3 ПДК включительно, не токсична, 4–5 ПДК – слабotoксична, при 10 ПДК меди – высокотоксична.

3. Выявлены линейные отрицательные связи между содержанием тяжелых металлов в почве и посевными качествами семян, морфометрическими параметрами тест-растений, которые аппроксимируются прямыми линиями с высокой степенью достоверности.

### Литература

1. Андреев Е.И., Иутинская Г.А., Валогурова Е.В. Иерархическая система биоиндикации почв, загрязненных тяжелыми металлами // Почвоведение. – 1987. – №12. – С. 1491–1496.
2. Гигиенические нормативы 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. – Введ. 2006–01–04. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 11 с.
3. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести – Введ. 1986-01-07. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 29 с.
4. Иванов В.Б., Быстрова Е.И., Серёгин И.В. Сравнение влияния тяжелых металлов на рост корня в связи с проблемой специфичности и избирательности их действия // Физиология растений. – 2003. – Т.50. – С.445–454.
5. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
6. Коротченко И.С., Кириенко Н.Н. Детоксикация тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu) в системе «почва-растение» в лесостепной зоне Красноярского края. – Красноярск, 2012. – 250 с.
7. Коротченко И.С., Первышина Г.Г. Токсичное действие тяжелых металлов на морковь (*Daucus carota* L.) сорта Марлинка // Вестник КрасГАУ. – 2010. – № 3. – С.135–138.
8. Коротченко И.С. Фитотоксичность и ферментативная активность чернозема выщелоченного при загрязнении тяжелыми металлами // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 5. – С.109–115.

9. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин, И.П. Дерюгин, В.И. Кобзаренко [и др.] – М.: КолосС, 2008. – 599 с.
10. Федорова А.И., Никольская А.Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды; учеб. пособие. – М.: ВЛАДОС, 2001. – 288 с.
11. Шестакова Г.А., Лыков И.Н., Голофтьеева А.С. Влияние загрязнения почвы тяжелыми металлами на активность ферментов и стабильность развития растений // Проблемы региональной экологии. – 2012. – № 6. – С. 55–59.
12. Adams T.M., McGrath S.P., Sanders J.R. The effect of soil pH on solubilities and uptake into ryegrass of zinc, copper and nickel added to soils in sewage sludges // Heavy Metals Environ. Int. Conf., Athens. – 1985. – V. 1. – P. 484–486.
13. Brummer G.W. Heavy metal species, mobility and availability in soil // Importance Chem. Environ. Process. Rept. – Berlin, 1986. – P. 169–192.



УДК 556.11(571.54)

Е.Д. Дугаржапова, В.Ц. Цыдыпов

### ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ВОДОЕМОВ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ И САНИТАРНО-БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

*В данной статье представлены результаты проведения гидрохимических и санитарно-бактериологических исследований водоемов Республики Бурятия с целью оценки качества воды на благоприятные условия для жизнедеятельности рыб.*

**Ключевые слова:** вода, водоем, гидрохимия, санитарная бактериология.

*E.D. Dugarzhapova, V.Ts. Tsidipov*

### THE WATER QUALITY ASSESSMENT OF BURYATIYA RESERVOIRS ON THE HYDROCHEMICAL AND SANITARY BACTERIOLOGICAL INDICES

*The results of the hydrochemical and sanitary-bacteriological research of reservoirs in the Buryat Republic in order to assess the water quality on the favourable conditions for fish vital functions are presented in the article.*

**Key words:** water, reservoir, hydrochemistry, sanitary bacteriology.

---

**Введение.** Основным условием эффективного производства объектов аквакультуры в рыбохозяйственных водоемах является соблюдение ветеринарно-санитарных правил. Поскольку рыбохозяйственные водоемы и источники их водоснабжения зачастую находятся вблизи населенных пунктов и сельскохозяйственных предприятий, происходят поступление в них стоков (городских, животноводческих и др.), которое, наряду с накоплением в водоеме остатков непотребленного рыбой корма и их экскрементов, при недостаточной проточности приводит к загрязнению водоемов и эпизоотическому неблагополучию [7], а также в результате отложения и накопления различных загрязняющих продуктов химический состав воды водоема изменяется [10].

В данной статье дана оценка воды рыбохозяйственных водоемов на соответствие основным показателям предельно допустимых концентраций химических веществ в воде и определение качества воды на оптимальные гидрохимические условия для организма рыб, а также санитарно-бактериологическая оценка водоемов.

**Материалы и методы исследований.** В данной работе представлены результаты санитарно-бактериологического и гидрохимического исследования в 2008–2013 гг. воды водоемов (озера Котокель, Гусиное, Сосновское, Исинга, Большая речка, Баргузин, дельта реки Селенга, Гусиноозерское осетровое рыбное хозяйство). Всего было отобрано и обработано 96 проб воды.

Санитарно-бактериологическое исследование воды проводили согласно методическим указаниям по санитарно-бактериологической оценке рыбохозяйственных водоемов [7]. Патогенность аэромонад и псевдомонад выявляли согласно методическим указаниям по определению патогенности аэромонад по степени ДНКазной активности [6].