

руют рост и развитие активно растущих проростков и угнетают прорастание медленнорастущих побегов.

4. На основании выявленных закономерностей действия высоких концентраций глицерина нами предложена технологическая схема его использования для консервирования зерен пшеницы.

#### Библиографический список

1. Ленинджер А. Биохимия. – М.: Мир, 1976. – 957 с.
2. Рогожин В.В. Биохимия растений: учебник. – СПб.: ГИОРД, 2012. – 432 с.
3. Гордон А., Форд Р. Спутник химика. – М.: Мир, 1976. – 541 с.
4. Рахманкулов Д.Л., Кимсанов Б.Х., Чанышев Р.Р. Физические и химические свойства глицерина. – М.: Химия, 2003. – 200 с.

5. Аграненко В.А., Федорова Л.И. Замороженная кровь и ее клиническое применение. – М.: Медицина, 1983. – 96 с.

6. Рогожина Т.В., Рогожин В.В. Физиолого-биохимические механизмы прорастания зерновок пшеницы // Вестник АГАУ. – 2011. – № 8. – С. 17-21.

7. Рогожин В.В., Курилюк Т.Т., Рогожина Т.В. Участие оксидоредуктаз в механизмах покоя и прорастания зерен пшеницы // Сельскохозяйственная биология. – 2012. – № 1. – С. 60-65.

8. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.

9. Рогожин В.В., Верхотуров В.В. Влияние антиоксидантов на всхожесть семян пшеницы // С.-х. биология. – 2001. – № 3. – С. 73-78.



УДК 631.438

**С.В. Бабошкина,  
И.В. Горбачев,  
С.Н. Балыкин,  
И.А. Егорова,  
С.С. Мешкина**

## ИМПАКТНЫЙ БИОГЕОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОГОРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ГОРОДА ГОРНЯКА

**Ключевые слова:** хвостохранилища, металлы, цинк, медь, свинец, кадмий, атомно-абсорбционный анализ, огородные почвы, морковь, фоновые концентрации, ОДК, ПДК, миграция.

#### Введение

Изучение загрязнения тяжелыми металлами огородных почв, овощей, зерновых культур, фруктов в рамках экологических исследований, направленных на установление взаимосвязей «окружающая среда – человек», весьма актуально и в настоящее время, поскольку в организм человека тяжелые металлы поступают в основном с растительной пищей. В рационе питания людей в нашей стране, особенно в небольших городах, таких как г. Горняк (Алтайский край, Локтевский район) существенным источником растительной пищи являются овощи, выращенные на приусадебном участке. Поэтому изучение химического состава огородных почв и овощных культур является, на наш взгляд, одним из наиболее рациональных способов увязать состояние окружающей среды и здоровье человека.

#### Объекты и методы

Алтай является одним из богатейших регионов России по запасам полезных ископаемых. На изучаемой нами территории разрабатывались и в настоящее время разрабатываются полиметаллические месторождения. В г. Горняке более 50 лет функционировал Алтайский горно-обогадительный комбинат, где перерабатывали руды с ряда месторождений Алтая и получали концентраты меди, цинка, свинца. За время работы комбината с северо-западной стороны от г. Горняка из отработанной руды образовалось два больших хвостохранилища общей площадью около 1 км<sup>2</sup>.

По результатам наших предыдущих исследований в верхнем слое старого отвала АГОКа валовое содержание Cu колебалось от 976 до 27005 мг/кг, концентрация Zn – от 550 до 16575, Pb – от 843 до 10745 мг/кг, Cd – от 1 до 21 мг/кг [1, 2]. Было установлено, что одной из главных экологических проблем прилегающих территорий АГОКа в условиях засушливого климата Северо-Западного Алтая является распространение пыли и мелкодисперсных аэрозолей, насыщенных тяжелыми метал-

лами, с поверхности высыхающих хвостохранилищ [2]. Поэтому огородные почвы и возделываемые на частных подворьях г. Горняка овощные культуры также могут содержать повышенные концентрации тяжелых металлов. Отметим, что территория г. Горняка более чем на 50% занята частным сектором.

**Цель исследования** – установить уровень загрязнения основными рудными химическими элементами компонентов агроэкосистем г. Горняка и выявить особенности их пространственного распределения в огородных почвах и моркови.

**Задачи исследования:**

- определить содержание и особенности пространственного распределения тяжелых металлов в педосфере г. Горняка;
- обосновать различия в содержании тяжелых металлов в почвах, а также моркови, выращенной на различном расстоянии от источников техногенного воздействия;
- оценить современный уровень загрязнения тяжелыми металлами компонентов огородных экосистем г. Горняка по санитарно-гигиеническим и эколого-биогеохимическим показателям.

**Объекты и методы исследования**

Исследования проводили в 2011 г. Образцы огородных почв и моркови (по 24 образца) в г. Горняке отбирались во дворах домов, расположенных по параллельным улицам, находящимся от эпицентра воздействия (хвостохранилищ АГОКа) на различном расстоянии и равноудаленным друг от друга. Были выбраны три улицы: Кирова (первая по приближенности к отвалам), Суворова (вторая по приближенности к отвалам улица) и Алтайская (максимально удаленная от отвала улица) (рис.).

Отбор проб почв на огородных участках осуществляли методом конверта. Почвенные образцы в отдельном помещении высушивали до воздушно-сухого состояния, просеивали через сито 1 мм. Содержание гумуса в почвах определялось по методу Тюрина, с титриметрическим окончанием, емкость катионного обмена – по Бобко-Аскинази-Алешину, pH – потенциометрически, гранулометрический состав почв – физико-химическим методом по Качинскому [3].

Пробоподготовку и анализ почв на валовое содержание тяжелых металлов проводили в соответствии с ПНД Ф 16.1:2.2:2.3.36-02 атомно-абсорбционным методом на приборе SOLAAR-M6 в химико-аналитическом центре ИВЭП СО РАН с использованием пламенной и электротермической атомизации. Для градуировки прибора применяли стандартные растворы ГСО изучаемого элемента. Контроль правильности проводили с помощью образцов сравнения stream sediment NCS DC 73307.

Корнеплоды после доставки в лабораторию тщательно мыли, ополаскивали дистиллированной водой, резали на небольшие кусочки и взвешивали. Затем образцы были высушены до воздушно-сухого состояния и снова взвешены (для определения влажности образца). Навески сухой массы моркови (10-15 г) подвергали озолению в муфельной печи в фарфоровых тиглях при температуре 600°C в течение 4 ч. Определение химических элементов в образцах моркови было выполнено многоэлементным атомно-эмиссионным методом дуговым арговым двухструйным плазматроном (система регистрации – спектрограф ДФС8) в ИПА СО РАН.

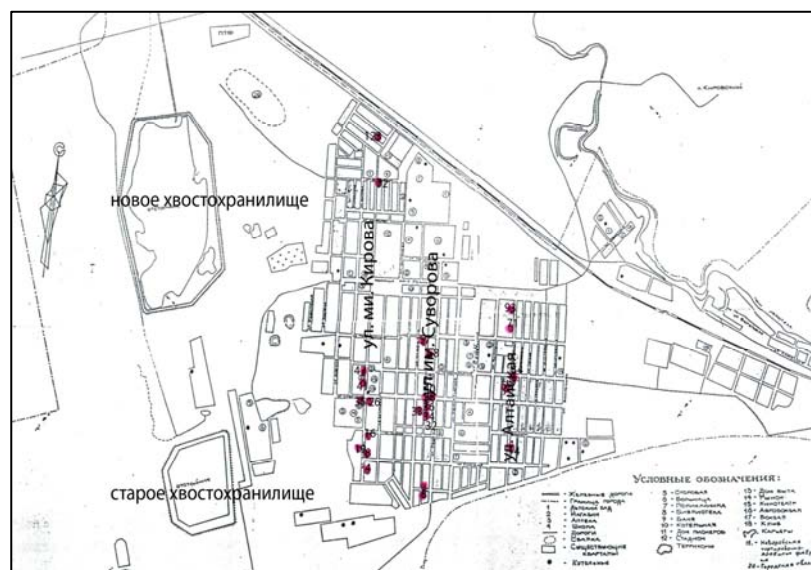


Рис. Схема расположения выбранных улиц г. Горняка и точек отбора почвенных и растительных проб

Чтобы сравнить результаты определения содержания металлов в моркови с литературными данными, пересчитывали содержание металлов в золе моркови на сухое вещество, а чтобы сравнить полученные значения с ПДК, пересчитывали на сырое вещество. Расчет зольности сухого вещества проводился по формуле, %:

$$Zol_{dry} = (m_{zol} * 100\%) / m_{dry},$$

где  $m_{dry}$  – масса навески сухого вещества моркови, г;

$m_{zol}$  – масса золы, получившейся из взятой навески сухого вещества, г.

Расчет содержания сухого вещества проводился следующим образом, %:

$$D = (m_{dry} * 100\%) / m_w,$$

где  $m_{dry}$  – масса сухого вещества моркови (всего образца после высушивания), г;

$m_w$  – масса сырого образца, г.

Расчет зольности на влажную массу осуществляли по формуле, %:

$$Zol_{w.} = Zol_{dry} \% / (100 / D, \%),$$

Пересчет концентрации элемента на сырое вещество выполняли по формуле, %:

$$C_{w.m.} = C_{zol.} / (100 / Zol_{w.}),$$

где  $C_{zol.}$  – концентрация элемента в золе.

Статистическую обработку данных проводили стандартными методами с использованием программы Microsoft Excel. Рассчитывали среднее арифметическое и его ошибку, стандартное отклонение, коэффициент вариации, среднее геометрическое.

Загрязнение почв оценивали методом сравнения ОДК [4], фоновыми концентрациями металлов в данном регионе [5], кларковыми содержаниями элементов в почвах (по Виноградову А.П., 1957 [6]), загрязнения растений – со среднемировыми фоновыми значениями [7].

Вычисления параметра уровня аномальности (или коэффициента фоновой концентрации) для каждого элемента выполнялись по формуле:

$$Kc_{ji} = \frac{C_{ji}}{C\phi_j},$$

где  $Kc$  – коэффициент аномальности (или коэффициент фоновой концентрации)  $j$ -того элемента в  $i$ -той пробе;

$C\phi_j$  – фоновое содержание  $j$ -того элемента в объекте.

Коэффициент аддитивного (суммарного) показателя загрязнения рассчитывался по формуле:

$$Zc = Kc_1 + Kc_2... + Kc_n - (n-1),$$

где  $n$  – количество определяемых элементов.

По суммарному показателю выделялись уровни загрязнения по шкале: 8-16 – низкий, 16-32 – средний, 32-128 – высокий и > 128 – очень высокий [7].

Кроме того, для оценки уровня загрязненности почв г. Горняк рассчитывался суммарный показатель загрязненности, как сумма отношений концентраций элементов в почве к ОДК:

$$Zc_{одк} = \sum (Me / ODK_0 - 1),$$

где  $Me$  – концентрация химического элемента, мг/кг (Нормы и критерии..., 1996).

### Результаты исследований и их обсуждение

Содержание гумуса в верхнем горизонте огородных почв г. Горняк в среднем составляет  $7,8 \pm 0,6\%$  ( $Cv = 20\%$ ); содержание органического вещества увеличено по сравнению с результатами 20-летней давности, очевидно, за счет применения удобрений [5]. Реакция среды нейтральная и слабощелочная, pH изменяется от 6,8 до 8,2. Содержание физической глины в огородных почвах колеблется в пределах от 32 до 41%. Таким образом, для исследуемых почв мы руководствовались нормативом ориентировочно допустимых концентраций металлов для почв группы «в» – близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые) [4].

По результатам нашего исследования содержание основных рудных металлов (Cu, Zn, Pb) в огородных почвах г. Горняк во всех пробах превышает региональный фон (концентрации в черноземах обыкновенных Северо-Западного Алтая) [5] и Кларк в почвах [6] (табл. 1). Так, стандартизованные по кларковым значениям концентрации рудных металлов в почвенных пробах г. Горняк изменяются по кадмию от 0,62 до 3,6, меди – от 1,1 до 6,5, цинку – от 2,0 до 7,4, свинцу – от 4,8 до 9,7 (табл. 2). Содержание металлов, приведенные по фоновым значениям, варьируют следующим образом: по кадмию – от 2,0 до 10,7, меди – от 1,3 до 5,0, цинку – от 1,2 до 5,2, свинцу – от 2,1 до 3,7 (табл. 3).

По содержанию в огородных почвах г. Горняк наибольшим превышением Кларка (из изученных нами элементов) отличается свинец, тогда как превышение фонового уровня содержания наиболее существенно по кадмию.

В 6 из 10 образцов огородных почв г. Горняк обнаружено превышение ОДК по цинку, до 1,7 раза, что составляло 382 мг/кг. По кадмию превышения ОДК установлено не было, но в отдельных точках по ул. Кирова содержание кадмия в почвах очень близко по значению к ОДК.

Наиболее высокие аддитивные коэффициенты аномальности ( $Zc$ ) и суммарные показатели загрязнения ( $Zc_{одк}$ ) были установлены в почвах частных подворий домов по ул. Кирова. Здесь  $Zc = 17-18$ , что соответ-

ствуется среднему уровню загрязненности почвы [8].

Основной вклад в величину суммарного коэффициента загрязнения  $Z_c$  огородных почв г. Горняка вносит кадмий. Как уже говорилось, его содержание наиболее существенно превышает фон – 0,15 мг/кг (табл. 1). Отметим, что фоновый уровень кадмия для почв юга Западной Сибири – 0,074 мг/кг, а наиболее часто встречающееся содержание кадмия в почвах городов – от 0,05 до 1 мг/кг [9-10]. По результатам 1991 г., максимальное содержание кадмия в почвах окрестностей отвалов АГОКа достигало 0,73 мг/кг. В настоящее время в г. Горняке содержание кадмия в огородных почвах заметно выше (0,3 до

1,8 мг/кг), но не превышает приводимых в литературе концентраций Cd в загрязненных почвах вокруг рудников, предприятий цветной металлургии и промышленно развитых городов Западной Европы [7, 10].

Элементом, определяющим величину суммарного загрязнения огородных почв г. Горняка  $Z_{содк}$ , является цинк. В России, в крупных промышленных городах, например, в Челябинской области, содержание цинка в почвах варьирует в пределах 352-1500 мг/кг [11]. В то же время, по данным некоторых последних работ, в почвах окрестностей металлургических производств (Череповецкий комбинат) валовое содержание цинка, как и концентрация его подвижных форм, не превышает ПДК [12].

Таблица 1

Содержание основных рудных и сопутствующих элементов в огородных почвах г. Горняка на разном удалении от эпицентра техногенного воздействия (пределы колебаний и средние значения)

Объект исследования	Химические элементы, мг/кг			
	Cd	Cu	Pb	Zn
Ул. Кирова (ближайшая к отвалам), n=10	0,53-1,8 1,1±0,1	30-86 63±6	48-81 65±4	145-382 241±25
Ул. Суворова (среднее расстояние от отвалов), n=8	0,3-0,7 0,62±0,1	22-30 50±11	50-97 65±4	92-217 160±14
Ул. Алтайская (расположена дальше других от отвалов), n=8	0,41-0,6 0,5±0,04	25-39 30±3	48-54 49±1	90-149 119±10
ОДК [4]	2	132	130	220
Кларк [6]	0,5	20	10	50
Региональный фон [1]	0,15	26	22	74

Таблица 2

Кларки концентраций элементов в пробах огородных почв г. Горняка (пределы колебаний и среднее значение)

Объект	C / Кларк			
	Cd	Cu	Pb	Zn
Ул. Кирова	1,0-3,6 2,1±0,3	1,5-3 3,1±0,3	4,8-8,1 6,5±0,4	2,9-7,4 4,8±0,5
Ул. Суворова	0,6-2,0 1,3±0,2	1,1-6,5 2,5±0,6	5,0-9,7 6,5±0,4	2,3-4,4 3,2±0,3
Ул. Алтайская	0,8-1,2 1,0±0,1	1,2-2,0 1,5±0,1	4,8-5,4 4,9±0,1	2,0-3,0 2,4±0,1

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов в огородных почвах г. Горняка, стандартизованное по фоновым величинам (пределы колебаний и средние значения соотношений  $K_c$ )

Объект	C/Cф			
	Cd	Cu	Pb	Zn
Ул. Кирова	3,3-10,7 7,1±0,9	1,1-3,3 2,4±0,2	2,2-3,7 2,9±0,2	2,0-5,2 3,3±0,3
Ул. Суворова	2,0-4,7 4,3±0,5	0,8-5,0 1,4±0,4	2,3-4,4 3,0±0,2	1,2-2,9 2,2±0,2
Ул. Алтайская	2,7-4,0 3,3±0,3	1,0-1,5 1,1±0,1	2,1-2,5 2,2±0,1	1,2-2,0 1,6±0,1

В результате проведенных исследований было установлено, что концентрация основных рудных и сопутствующих элементов в огородных почвах г. Горняка увеличивается по мере приближения участков к источнику загрязнения. Улица, расположенная наиболее близко к хвостохранилищам (ул. Кирова), отличается наиболее высоким содержанием Cd и Zn в почвах. Суммарный показатель загрязнения почв на этой улице  $Z_c > 16$  соответствует средней степени загрязнения. Улица, расположенная на большем расстоянии от отвалов (ул. Алтайская), отличается достоверно более низким содержанием металлов.

Содержание исследуемых металлов в сыром веществе моркови, собранной с частных подворий г. Горняка в 2011 г., не превышало ПДК [13] и приводимые в литературе (на сухую массу) величины [7], за исключением меди, содержание которой в 50% случаев выше содержания в овощах незагрязненных агроценозов (но не выше ПДК). Интересно, что наиболее насыщенная тяжелыми металлами овощная продукция г. Горняка была выращена на огородах, расположенных не вблизи отвалов, как ожидалось, а на некотором расстоянии от них – в основном, в центральной и северо-восточной части города, на улицах Суворова и Алтайской. Объяснение этому может быть следующее. В условиях семиаридного климата Северо-Западного Алтая миграция металлов осуществляется преимущественно путем ветрового переноса. При этом эрогенная миграция тонкодисперсных фракций отвалов АГОКа (кристаллов солей, вторичных минералов), являющихся носителем более подвижных и доступных растениям форм металлов, происходит на большие расстояния, чем воздушный перенос более грубых фракций (мелких обломков горных пород), обеспечивающих насыщение почв близлежащих к отвалам участков валовым содержанием металлов. Поэтому отдельные частные подворья на ул. Суворова и Алтайской, находящиеся на некотором расстоянии (на северо-востоке) от старого отвала, отличаются несколько более высоким содержанием металлов в овощах (моркови). А улица им. Кирова, наиболее близко расположенная к хвостохранилищам, отличается только повышенным содержанием валовых форм металлов в почвах.

#### Выводы

1. Содержание основных рудных (Cu, Zn, Pb) и сопутствующих (Cd) металлов в огородных почвах г. Горняка в 2011 г. во всех пробах превышает региональный фон и Кларк в почвах, но только в некоторых пробах выше  $ОДК_{Zn}$ .

2. Концентрация тяжелых металлов в огородных почвах г. Горняка (особенно Cd и Zn) увеличивается по мере приближения участков к источнику загрязнения. Уровень превышения нормативов содержания тяжелых металлов в почвах на улице, расположенной ближе к хвостохранилищам, ( $Z_c > 16$ ) соответствует средней степени загрязнения.

3. Наиболее насыщенная металлами овощная продукция (морковь) была выращена на огородах, расположенных не вблизи, а на некотором расстоянии от отвалов, что объясняется более интенсивной аэрогенной миграцией тонкодисперсных частиц, являющихся носителями доступных растениям форм, чем грубых фракций, оседающих вблизи хвостохранилищ и насыщающих огородные почвы близлежащих улиц малоподвижными соединениями металлов.

#### Библиографический список

1. Бабошкина С.В., Горбачев И.В., Пузанов А.В. Тяжелые металлы в природных и техногенных ландшафтах Алтая // Природа. – 2007. – № 3. – С. 60-65.
2. Пузанов А.В., Бабошкина С.В. Особенности миграции тяжелых металлов в природно-техногенных аномалиях Северо-Западного Алтая // Геохимия. – 2012. – № 4. – С. 393-402.
3. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
4. Ориентировочно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в почвах. Гигиенические нормативы 2.1.7.020-94. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1995. – 6 с.
5. Рождественская Т.А. Тяжелые металлы в почвах и растениях юго-западной части Алтайского края: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2003. – 116 с.
6. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 234 с.
7. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
8. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве (утв. Главным государственным санитарным врачом СССР от 15.05.1990 N 5174-90. (текст документа по состоянию на 1 марта 2008 г.).
9. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в почвах Западной Сибири // Почвоведение. – 1987. – № 11. – С. 87-94.
10. Цинк и кадмий в окружающей среде. – М.: Наука, 1992. – 199 с.

11. Граковский В.Д., Фрид А.С., Сорокин С.Е., Тимохин П.А. Оценка загрязнения почв Челябинской области тяжелыми металлами и мышьяком // Почвоведение. – 1997. – № 1. – С. 88-95.

12. Рогова О.Б. Медь и цинк в почвах зоны влияния Череповецкого комбината в связи с содержанием в них техногенных оксидов железа: дис. ... канд. биол. наук. – М., 2010. – 132 с.

13. Габович Р.А., Припутина Л.С. Гигиенические основы охраны продуктов питания от вредных химических веществ. – Киев: Здоровье, 1987. – 246 с.

*Работа выполнена при финансовой поддержке ОУС наук о Земле СО РАН, полученной по результатам Лаврентьевского конкурса молодежных проектов (грант № 7 на два года, согласно Приложению 1 к решению бюро ОУС наук о Земле СО РАН от 26 января 2010 г.).*



УДК 004.942

**В.М. Дмитриев,  
Э.В. Николаева**

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЕЛЬХОЗУГОДИЙ И ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПРИРОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

**Ключевые слова:** *эколого-экономическая система, метод компонентных цепей, природные и химические загрязнения, природоохранные мероприятия.*

Актуальной задачей в области охраны окружающей среды регионов сельскохозяйственного назначения является мониторинг и минимизация последствий экологических аварий и катастроф, связанных с химическими загрязнениями на сельхозугодьях и их просачиванием в почвенный покров. Особенно остро эта проблема стоит на полях, засеянных злаковыми культурами. Для оценки экологического ущерба угнетения зерновых полей, разработки экологических программ, направленных на ликвидацию последствий загрязнений, и оптимизации входящих в них природоохранных мероприятий может быть применена компьютерная модель, позволяющая исследовать процессы природоохранной деятельности с точки зре-

ния экологического и экономического аспектов. Такая модель, сформированная на основе метода компонентных цепей, принципа многоуровневого компьютерного моделирования и расположенная на взаимосвязанных визуальном, логическом и объектном уровнях, должна включать в себя модели экологического и экономического субуровней объектного уровня. Следовательно, ее компоненты должны располагаться на соответствующих субслоях объектного слоя редактора многоуровневой компьютерной модели региональной эколого-экономической системы (ЭЭС) сельхозугодья [1-4].

Такая компьютерная модель объектного уровня, предназначенная для расчета экологического ущерба, нанесенного сельскохозяйственному полю с произрастающими на нем злаковыми культурами при разливе нефти и формирования экологических программ, представлена на рисунке 1. При