

УДК 507.75.05

Канд. хим. наук
Докт. техн. наукМ.М. Джунусбеков¹
А.Д. Акбасова¹**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОЧВ
ГОРОДА КЕНТАУ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

Ключевые слова: тяжелые металлы, почвы, мхи, коэффициент техногенности, коэффициент накопления

В работе рассмотрены последствия продолжительного антропогенного воздействия горноперерабатывающего предприятия на окружающую среду на примере города Кентау (Казахстан). Химический анализ почв города выявил высокие концентрации тяжелых металлов Pb, Cu, Zn, и Cd, значительно превышающие установленные нормы ориентировочно допустимых концентраций (ОДК). В качестве индикатора аэротехногенного загрязнения города использовались образцы мхов. Рассчитаны коэффициенты техногенности почв K_T и коэффициенты накопления металлов K_n в исследованных мхах.

Введение. Промышленная добыча и переработка полиметаллических руд ведет к неизбежному, значительному загрязнению окружающей среды токсичными поллютантами. Основная доля в составе отходов горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий приходится на тяжелые металлы, которые поступают в биосферу в виде пыли, дымовых выбросов и сбросов сточных вод. Загрязнения от указанных предприятий носит более или менее локальный характер, но и степень концентрирования токсичных элементов, в частности тяжелых металлов, более высокая. Почва является основной средой, в которую попадают тяжелые металлы, в том числе из атмосферы и водной среды. Она же служит долгим во временном промежутке источником вторичного загрязнения, являясь при этом своеобразным природным буфером, контролирующим перенос металлов и их соединений в атмосферу, гидросферу и живое вещество [6, 13].

¹ Международный Казахско-Турецкий Университет имени Х.А. Ясави
Казахстан, г. Туркестан, Казахстан

Продолжительность пребывания загрязняющих компонентов в почве значительно больше, чем в других частях биосферы, и в особенности это касается тяжелых металлов [15, 8]. Проблема загрязнения почв остается надолго, даже после прекращения работы предприятий. Металлы, накапливаясь в почве, медленно удаляются при выщелачивании, потреблении растениями, эрозии и дефляции [7]. Период полуудаления тяжелых металлов сильно варьируется для различных элементов, но составляет достаточно продолжительные периоды времени: для Zn – от 70 до 510 лет; для Cd – от 13 до 110 лет; для Cu – от 310 до 1500 лет и для Pb – от 740 до 5900 лет [1].

Тяжелые металлы уже сейчас занимают второе место по степени опасности, уступая пестицидам и значительно опережая такие широко известные загрязнители, как двуокись углерода и серы. В перспективе они могут стать более опасными, чем отходы атомных электростанций [2]. Возрастающее накопление тяжелых металлов приводит не только к нарушению экологического баланса, но и может вызвать серьезные заболевания у человека.

Сложная экологическая ситуация складывается в городах, где функционируют горнодобывающие и горноперерабатывающие предприятия. В качестве примера можно привести г. Кентау, расположенный в Туркестанской области Республики Казахстан (население 69 тыс. на 2018 г.) [16]. В непосредственной близости от города с 50-х по 90-е годы активно разрабатывались полиметаллические рудники, содержащие в основном свинец и цинк, а также другие сопутствующие металлы. Переработка и обогащение этих руд производилась на предприятии «Ачисайский полиметаллический комбинат». Несмотря на то, что предприятие закрыто уже 30 лет, проблема загрязненности почв города и прилегающих территорий актуальна на сегодняшний день. Значительно усугубляет ситуацию отвальные отходы, хранящиеся в бывшем производственном полигоне. Данное «хвостохранилище» с площадью около 300 га расположено практически у границы города Кентау с северо-западной стороны на расстоянии примерно 1 км. В нем почти полвека складировались отходы обогатительной фабрики «Ачисайского полиметаллического комбината». В настоящее время объем хранящихся опасных отходов, оказывающих негативное воздействие на окружающую природную среду, составляет около 150 миллионов тонн. Особенно при ветреной погоде наблюдается

значительный по масштабу пылевой разнос на дальние расстояния токсичных взвешенных твердых частиц и газовых примесей с поверхности хранилища. В связи с этим представляет актуальность проведение мониторинговых исследований по оценке воздействия хвостохранилища на состояние объектов биосферы, от которых в конечном итоге зависит здоровье населения.

В данном исследовании проведена оценка степени загрязнения тяжелыми металлами (Pb, Zn, Cu, Cd) почв и растений города Кентау, включая территории, относящиеся к зоне интенсивного воздействия «хвостохранилища».

Объекты и методы исследования. В работе анализировались пробы почв, отобранные в промышленной зоне, в районах жилого массива и парках. В качестве индикатора аэротехногенного загрязнения города использовались образцы мхов, произрастающих в местах отбора проб почв.

Выбор мхов обусловлен их высокой способностью аккумулировать экотоксиканты из атмосферного воздуха. Поскольку во мхах отсутствует корневая система, вклад других источников, кроме атмосферных выпадений, в большинстве случаев ограничен. Кроме того, они довольно широко распространены и легко переносят неблагоприятные условия, в частности, высокое загрязнение среды. Использование мохообразных в качестве биоиндикаторов широко распространено в мире [9, 16, 17].

Пробы почв отбирались из поверхностного слоя и непосредственно под ним из глубины 5...10 см. Усредненная проба отбиралась в местах отбора известным методом конверта [5]. Там же извлекались произрастающие пробы мхов. В работе определялось валовое содержание металлов в почве. Извлечение металлов из почвы производили 50 %-ным раствором HNO_3 и концентрированным раствором H_2O_2 с последующим прокаливанием аликвотной части вытяжки в муфельной печи при температуре 450°C в течение 30 минут [10]. Перед проведением анализов на тяжелые металлы, содержащиеся во мхах, определялась видовая принадлежность собранных мхов. Образцы мхов (зеленые их части), предварительно высушенные до воздушно-сухого состояния, подвергались мокрому озолению с концентрированным раствором HNO_3 и 30 %-ным раствором H_2O_2 с последующим прокаливанием при температуре 450°C в течение 30 минут. Все подготовленные пробы почв и мхов проанализированы на анализаторе «Ta-lab» методом инверсионной

вольтамперометрии согласно методике [12]. Определение pH солевой вытяжки почвенных образцов проводили потенциометрическим методом на иономере «И-160МИ» [14].

Результаты и обсуждение. Координаты мест отбора проб почвы и мхов отмечены в таблице 1. Для сопоставления отбирались пробы почв и мхов в п. Урангай и г. Туркестан, удаленных от г. Кентау на 16 и 30 км соответственно, и на территориях с наименее нарушенной экологией, таких как Каратауский и Аксу-Жабаглинский заповедники.

Таблица 1

Географическое расположение объектов исследований

| Места отбора проб почвы и мхов | Географические координаты | |
|--|---------------------------|-------------|
| Центральный парк | N 43°51'80" | E 68°50'07" |
| Парк горняков | N 43°52'14" | E 68°51'63" |
| ТЭЦ-5 | N 43°52'01" | E 68°56'11" |
| Обогатительная фабрика | N 43°53'09" | E 68°49'66" |
| Северо-западный район | N 43°51'51" | E 68°48'64" |
| Юго-западный район (парк молодежи) | N 43°50'28" | E 68°50'31" |
| Экскаваторный завод | N 43°51'27" | E 68°54'04" |
| Трансформаторный завод | N 43°50'69" | E 68°52'72" |
| Центр города | N 43°51'58" | E 68°50'58" |
| Каратауский государственный природный заповедник | N 43°55'45" | E 68°67'59" |
| Поселок Урангай | N 43°41'38" | E 68°38'94" |
| Ботанический сад г. Туркестан | N 43°29'97" | E 68°30'04" |
| Аксу-Жабаглинский государственный природный заповедник | N 42°42'24" | E 70°54'32" |

Полученные результаты анализов исследованных почв представлены в таблице 2. Как и следовало ожидать, многолетняя практика промышленной добычи и переработки полиметаллических руд серьезно сказалась на экологической обстановке г. Кентау. Здесь наблюдается значительное загрязнение почв города тяжелыми металлами, в особенности свинцом и цинком. Свинец и цинк относят к первому классу опасности [4], т.е. к высоко опасным веществам, негативно воздействующим на живой организм. Высокие концентрации в почвах города выявлены также и для меди (II класс опасности). Самые высокие

концентрации металлов ожидаемо наблюдаются в промышленных зонах города. Из жилой части города по загрязнению выделяется северо-западный район, в особенности по содержанию цинка. Указанное обстоятельство доказывает влияние на уровень загрязнения близко расположенного к данному району «Хвостохранилища».

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в почвах

| Место отбора | рН | Металлы, мг/кг | | | |
|-------------------------------|-----|----------------|-------|--------|--------|
| | | Pb | Cu | Zn | Cd |
| Центральный парк | 7,7 | 312,4 | 127,4 | 312,6 | <0,001 |
| Парк горняков | 7,6 | 531,1 | 210,2 | 470 | 0,001 |
| ТЭЦ-5 | 6,7 | 575,5 | 265 | 905,1 | 0,034 |
| Обогатительная фабрика | 6,1 | 1742,2 | 580,5 | 3422,3 | 0,122 |
| Северо-западный район | 7,5 | 462,7 | 170,4 | 881,7 | 0,001 |
| Юго-западный район | 7,9 | 257,5 | 130,3 | 256,8 | <0,001 |
| Экскаваторный завод | 6,6 | 520,0 | 78,6 | 315,6 | <0,001 |
| Трансформаторный завод | 7,1 | 541,6 | 230,1 | 1040 | <0,001 |
| Центр города | 7,9 | 270,4 | 145,0 | 455,3 | 0,001 |
| Каратауский ГПЗ | 6,9 | 35,4 | 15,5 | 66,7 | <0,001 |
| п. Урангай | 7,2 | 53,6 | 41,2 | 51,4 | <0,001 |
| Ботанический сад г. Туркестан | 7,8 | 26,4 | 32,1 | 42,2 | <0,001 |
| Аксу-Жабаглинский ГПЗ | 6,9 | 14,3 | 22,0 | 44,0 | <0,001 |

Оценку уровня загрязнения исследованных почв производили на основе сравнения с ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК) металлов в почве [3]. ОДК исследованных металлов для нейтральных почв соответственно равны, в мг/кг: Pb – 130; Cu – 132; Cd – 2,0; Zn – 220. На основе этих данных рассчитаны коэффициенты техногенности почв K_t , представленные в таблице 3.

Полученные данные по K_t наглядно указывают на значительный уровень загрязнения тяжелыми металлами почв г. Кентау. Установленные их концентрации в десятки раз превышают фоновые. Можно отметить также, что уже на относительно небольшом отдалении от г. Кентау наблюдается существенное снижение уровня загрязненности почв тяжелыми металлами, показанное на примере данных по п. Урангай и

г. Туркестан. Данное обстоятельство говорит о выраженной локальности загрязнения, исходящего от горноперерабатывающих предприятий.

Таблица 3

Значения коэффициентов техногенности K_T для исследованных почв

| Место отбора | K_T | | | |
|------------------------|-------|------|-------|-------|
| | Pb | Cu | Zn | Cd |
| Центральный парк | 2,40 | 0,97 | 1,42 | – |
| Парк горняков | 4,09 | 1,59 | 2,14 | 0,001 |
| ТЭЦ-5 | 4,43 | 2,01 | 4,11 | 0,017 |
| Обогатительная фабрика | 13,40 | 4,40 | 15,56 | 0,061 |
| Северо-западный район | 3,56 | 1,29 | 4,01 | – |
| Юго-западный район | 1,98 | 0,99 | 1,17 | – |
| Экскаваторный завод | 4,00 | 0,60 | 1,43 | – |
| Трансформаторный завод | 4,17 | 1,74 | 4,73 | – |
| Центр города | 2,08 | 1,10 | 2,07 | – |
| Каратауский ГПЗ | 0,27 | 0,12 | 0,30 | – |
| п. Урангай | 0,41 | 0,31 | 0,23 | – |
| Ботанический сад | 0,20 | 0,24 | 0,19 | – |
| Аксу-Жабалинский ГПЗ | 0,11 | 0,17 | 0,20 | – |

Данные по содержанию тяжелых металлов во взятых для анализа образцах мхов адекватно отражают уровень техногенной нагрузки исследованных территорий (таблица 4). Как показали результаты, исследованные мхи проявили аккумулятивные свойства, накопив в своем организме высокие концентрации металлов. Вычисленные коэффициенты накопления представлены в таблице 5.

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов во мхах, мг/кг воздушно-сухого веса

| Место отбора | Мхи | Металлы, мг/кг | | | |
|------------------------|-------------------------|----------------|-------|--------|--------|
| | | Pb | Cu | Zn | Cd |
| Центральный парк | <i>Tortella T.</i> | 128,0 | 41,0 | 203,0 | <0,001 |
| Парк горняков | <i>Tortella T.</i> | 289,0 | 88,2 | 400,1 | <0,001 |
| ТЭЦ-5 | <i>Pterygoneurum O.</i> | 185,4 | 106,3 | 432,2 | 0,061 |
| ТЭЦ-5 | <i>Bryum A.</i> | 166,5 | 91,4 | 412,0 | 0,047 |
| Обогатительная фабрика | <i>Bryum A.</i> | 676,3 | 197,2 | 1043,3 | 0,102 |
| Обогатительная фабрика | <i>Tortella T.</i> | 605,0 | 139,2 | 853,1 | 0,088 |
| Северо-западный район | <i>Tortella T.</i> | 263,4 | 111,4 | 811,5 | 0,001 |
| Юго-западный район | <i>Tortella T.</i> | 77,1 | 29,5 | 210,1 | <0,001 |

| Место отбора | Мхи | Металлы, мг/кг | | | |
|------------------------|--------------------|----------------|------|-------|---------|
| | | Pb | Cu | Zn | Cd |
| Экскаваторный завод | <i>Bryum A.</i> | 159,5 | 28,2 | 228,4 | < 0,001 |
| Трансформаторный завод | <i>Tortella T.</i> | 154,4 | 73,3 | 832,4 | < 0,001 |
| Центр города | <i>Tortella T.</i> | 116,1 | 83,2 | 323,4 | < 0,001 |
| Каратауский ГПЗ | <i>Tortella T.</i> | 22,4 | 16,7 | 29,0 | < 0,001 |
| П. Урангай | <i>Bryum A.</i> | 27,2 | 18,1 | 26,4 | < 0,001 |
| Ботанический сад | <i>Tortella T.</i> | 19,3 | 20,2 | 18,4 | < 0,001 |
| Аксу-Жабаглинский ГПЗ | <i>Tortella T.</i> | 0,02 | 11,5 | 9,5 | < 0,001 |

Таблица 5

Значения коэффициента накопления K_n тяжелых металлов

| Место отбора | Мхи | K_n | | | |
|------------------------|-------------------------|-------|------|------|------|
| | | Pb | Cu | Zn | Cd |
| Центральный парк | <i>Tortella T.</i> | 0,41 | 0,32 | 0,64 | – |
| Парк горняков | <i>Tortella T.</i> | 0,54 | 0,42 | 0,85 | – |
| ТЭЦ-5 | <i>Pterygoneurum O.</i> | 0,32 | 0,40 | 0,48 | 1,79 |
| ТЭЦ-5 | <i>Bryum A.</i> | 0,29 | 0,35 | 0,46 | 1,38 |
| Обогащительная фабрика | <i>Bryum A.</i> | 0,39 | 0,34 | 0,31 | 0,84 |
| Обогащительная фабрика | <i>Tortella T.</i> | 0,35 | 0,24 | 0,25 | 0,72 |
| Северо-западный район | <i>Tortella T.</i> | 0,57 | 0,65 | 0,92 | 1,00 |
| Юго-западный район | <i>Tortella T.</i> | 0,30 | 0,23 | 0,82 | – |
| Экскаваторный завод | <i>Bryum A.</i> | 0,31 | 0,36 | 0,72 | – |
| Трансформаторный завод | <i>Tortella T.</i> | 0,29 | 0,32 | 0,80 | – |
| Центр города | <i>Tortella T.</i> | 0,43 | 0,57 | 0,71 | – |
| Каратауский ГПЗ | <i>Tortella T.</i> | 0,63 | 1,08 | 0,43 | – |
| П. Урангай | <i>Bryum A.</i> | 0,51 | 0,44 | 0,51 | – |
| Ботанический сад | <i>Tortella T.</i> | 0,73 | 0,63 | 0,44 | – |
| Аксу-Жабаглинский ГПЗ | <i>Tortella T.</i> | 0,15 | 0,52 | 0,22 | – |

Как видно из приведенных данных коэффициента накопления K_n , низкие его значения ($K_n < 0,5$) наблюдаются в зонах с повышенным уровнем загрязнения – в промышленной части города. Данное обстоятельство, по-видимому, объясняется усилением защитных свойств мхов к высоким дозам токсикантов. Кроме того, относительно низкие значения K_n указывают на отсутствие сколько либо значимых поступлений соединений металлов из воздушной среды в неработающих в настоящем промышленных объектах, т.к. мохообразные являются преимущественно биоиндикаторами атмосферного воздуха.

Выводы. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о значительном загрязнении почв г. Кентау тяжелыми металлами высокого класса опасности – Pb и Zn, а так же Cu. Неблагоприятная экологическая обстановка в городе сложилась, как известно, в результате многолетней работы предприятия по переработке полиметаллической руды. Несмотря на то, что с момента прекращения работы «Ачполиметалл» прошел не один десяток лет, установленные высокие концентрации металлов в почве в настоящем указывают на медленный характер протекания процессов естественной биоремедиации. Обнаруженные высокие концентрации металлов в образцах мха свидетельствуют о негативном воздействии на экологию города «Хвостохранилища». Токсичная пыль из «Хвостохранилища» в ветренную погоду через легкие может проникать в организм человека и вызывать различные заболевания. В работе также установлено, что загрязнение тяжелыми металлами ограничено в основном пределами г. Кентау и прилегающими территориями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 141 с.
2. Вредные химические вещества: неорганические соединения элементов I–IV групп / под ред. В.А. Филова. – Л.: Химия, 1988. – 512 с.
3. ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 10 с.
4. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. – М.: Госкомсанитариздат, 1985.
5. ГОСТ 17.4.3.01-83 (СТ СЭВ 3847-82). Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. – М.: Госкомсанитариздат, 1984.
6. Джувеликян Х.А., Щеглов Д.И., Горбунова Н.С. Загрязнение почв тяжелыми металлами. Способы контроля и нормирования загрязненных почв: учеб. пособие. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2009. – 22 с.
7. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
8. Корельский Д.С. Оценка уровня загрязнения приповерхностного слоя почв в зоне воздействия металлургического предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2008. – №9. – С. 330-333.

9. Мелехова О.П., Егорова Е.И., Евсеева Т.И. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / под ред. О.П. Мелеховой и Е.И. Егоровой. – М.: Академия, 2007. – 288 с.
10. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. / под ред. А.М. Артюшина. – М.: ЦИНАО, 1992. – 62 с.
11. Мотузова Г.В., Безуглова О. С. Экологический мониторинг почв. – М.: Академический Проект, 2007. – 237 с.
12. МУ 31-11/05. Количественный химический анализ проб почв, тепличных грунтов, сапропелей, илов, донных отложений, твердых отходов. Методика выполнения измерений массовых концентраций цинка, кадмия, свинца, меди, марганца, мышьяка, ртути методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА. – Томск.: ООО «НПП «Томьаналит», 2005.
13. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. – М.: Астрель-2000, 1999. – 768 с.
14. СТ РК ИСО 10390-2007. Качество почвы. Определение pH. – Астана: Госстандарт, 2008.
15. Тиво П.Ф., Бычко И.Г. Тяжелые металлы и экология: науч. издание. – Минск: Юнипол, 1996. – 192 с.
16. Ermakova EV, Frontasyeva MV, Steinnes E Air pollution studies in Central Russia (Tula region) using the moss biomonitoring technique, NAA and AAS. // J. Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2004. – V.259 (1). – P.51-58. <https://doi.org/10.1023/b:jmc.0000015805.22707.a1>
17. Zhang YX, Cao T, Atsuo I. Study of moss as air pollution monitor by SRXRF technique // Chinese Science Bulletin. – 2009. – V.54. – №17. – P. 2987-2990. <https://doi.org/10.1007/s11434-009-0320-2>.

Поступила 04.08.2020

Химия ғылымд. канд.
Техн. ғылым докторы

М.М. Джунусбеков
А.Д. Акбасова

**КЕНТАУ ҚАЛАСЫНЫҢ ТОПЫРАҒЫНЫҢ АУЫР
МЕТАЛДАРМЕН ЛАСТАНУ ДЕНГЕЙІНЕ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ БАҒА
БЕРУ**

Түйін сөздер: ауыр металдар, топырақ, мүктер, техногендік коэффициент, жинақталу коэффициент

Бұл жұмыста Кентау қаласы (Қазақстан) мысалында тау-кен өңдеу кәсіпорнының қоршаған ортаға ұзаққа созылған антропогендік әсерінің салдары қарастырылды. Қала топырағының химиялық талдауы Pb, Cu, Zn және Cd ауыр металдарының жоғары концентрациясын анықтады, бұл көрсеткіштер шамамен рұқсат етілген концентрациялардың белгіленген нормаларынан едәуір асып түседі. Қаланың аэротехногенді ластануының индикаторы ретінде мүктердің үлгілері пайдаланылды. Топырақтың техногендік коэффициенттері Кт және зерттелген мүктердегі металдардың жинақталу коэффициенттері Кн есептелінді.

M.M. Junusbekov, A.D. Akbasova

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE SOIL CONTAMINATION LEVEL OF THE KENTAU CITY WITH HEAVY METALS

Keywords: heavy metals, soils, mosses, *coefficient of soil technogenicity, coefficient of metal accumulation*

The consequences of the long-term anthropogenic impact of a mining processing enterprise on the environment are considered on the example of the city of Kentau (Kazakhstan). Chemical analysis of the city's soils revealed high concentrations of heavy metals Pb, Cu, Zn, and Cd, significantly exceeding the established norms of tentative allowable concentrations. Moss samples were used as an indicator of aerotechnogenic pollution of the city. The coefficients of soil technogenicity and the coefficients of metal accumulation in the studied mosses.