05.02.22 Организация производства (по отраслям) (технические науки)

DOI: 10.31660/0445-0108-2019-3-135-146

УДК 662.106.33

Исследование состояния почв на месторождении мела Шетпе Южное

А. М. Айтимова[1]*, Г. Ж. Кенжетаев[2], В. Н. Пермяков[3]

[1]*Астраханский государственный университет, г. Астрахань, Россия*
[2]*Каспийский государственный университет технологии и инжиниринга им. Ш. Есенова, г. Актау, Республика Казахстан*
[3]*Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия*
**e-mail: aitimova_ainazhan@mail.ru*

Аннотация. В октябре 2018 года проведены исследования по изучению состояния почв на территории месторождения мела Шетпе Южное и в районе завода «Каспий Цемент». Было отобрано 20 почвенных проб. Пробы отбирали с глубины 0–20 см. Наличие в почве тяжелых металлов определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии с использованием ААС МГА-915М («Люмэкс», Россия), их содержание сопоставляли с фоновыми значениями и с имеющимися предельно допустимыми концентрациями (ПДК). Для исследования состояния почв, использован суммарный показатель загрязнения почв (СПЗ), использующий фон, и для повышения результативности диагностики изучаемой территории вычислены показатели индекса загрязнения почв (ИЗП), опирающиеся на ПДК. Расчет СПЗ показал, что величина Z_C для всех площадок составила от 3,58 до 5,26 ед. Почвы характеризуются как неопасные ($Z_C < 16$), и оценка состояния почв необъективна по причине учета только тяжелых металлов с $K_C < 1$. При расчетах ИЗП установлено, что большинство проб почв на ПП-1, ПП-2 и ПП-3 обладают показателями ИЗП > 1, что характеризует почвы как «загрязненные». На ПП-4 (контроль) ИЗП равен 0,74 — почвы «чистые». Статистическая обработка в среде Statistica 10 показала, что критерий Краскела — Уоллиса статистически значим только для Ni и As ($p < 0,05$) для почвенных проб ПП-2 (на участке перевозки мела и отвалов). Карты-схемы выполняли с применением космоснимков и в среде программ Google Maps, Mapinfo Professionalv. 12.

Ключевые слова: месторождение мела; цементный завод; почвы; мониторинг; тяжелые металлы; интегральные показатели

Studying the state of soils in the territory of the Shetpe South chalk deposit

Aynazhan M. Aitimova[1]*, Gusman Zh. Kenzhetayev[2], Vladimir N. Permyakov[3]

[1]*Astrakhan State University, Astrakhan, Russia*
[2]*Caspian State University of Technologies and Engineering named after Sh. Yessenov, Aktau, the Republic of Kazakhstan*
[3]*Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia*
**e-mail: aitimova_ainazhan@mail.ru*

Abstract. Investigations were carried out to study the state of the soil in the territory of the Shetpe South chalk deposit and in the area of the Caspian Cement plant in October 2018. 20 soil samples were taken. Samples were taken from a depth of 0–20 cm. The presence of heavy metals in the soil was determined by atomic absorption spectrometry using AAC MGA-915M (Lumex, Russia), their content was compared with background values and with existing maximum allowable concentrations. The total soil pollution indicator or Z_C, using the background, was used to study the state of the soil. The indicators of the soil pollution index were calculated to improve the diagnostic performance of the study area. The calculation of the total soil pollution indicator showed that the value of Z_C for all sites was from 3,58 to 5,26 units. The soils are characterized as non-hazardous (Z_C < 16), and the assessment of the condition of the soil is biased due to taking into account only heavy metals with K_C < 1. The soil pollution index calculations showed that the majority of soil samples at sites PP-1, PP-2 and PP-3 have indicators of soil pollution index > 1, which characterizes the soil as "polluted". At site PP-4 (control) the soil pollution index is 0,74, the soils are "clean". Statistical processing in the environment Statistica 10 showed that the Kruskal — Wallis criterion is statistically significant only for Ni and As (p < 0,05) for soil samples at site PP-2 (at the site of transportation of chalk and dumps). Maps were performed using satellite imagery and using of Google Maps, Mapinfo Professionalv. 12.

Key words: chalk deposit; cement plant; soils; monitoring; heavy metals; integral indicators

Введение

Проект строительства цементного завода «Каспий Цемент» в п. Шетпе Мангистауской области был основным в госпрограмме форсированного индустриально-инновационного развития Казахстана, согласно которой «Каспий Цемент» стал единственным и крупным заводом в западном регионе. Решение его строительства в этом районе обусловлено наличием месторождения мела Шетпе Южное, в непосредственной близости от которого построен завод. Мел является основным сырьем для производства цемента с добавкой глинистого сырья месторождений Аусарской группы, расположенных в 12 км к северо-востоку от районного центра — поселка Шетпе, в 6,5 км от которого находится месторождение мела Шетпе Южное. Проект реализован компанией с мировым именем Heidelberg Cement, являющейся одной из крупных мировых производителей строительных материалов.

В настоящее время «Каспий Цемент» не только удовлетворяет нужды строителей региона, но и экспортирует цемент в соседние прикаспийские страны. С экологической точки зрения влияние на окружающую среду цементного завода в основном обусловливается тем, что загрязнение почв цементной пылью приведет к изменению некоторых свойств растительного покрова и почв [1]. Почва — основная среда, в которую из атмосферы попадают вредные химические элементы, в частности тяжелые металлы.

В этой связи при исследовании состояния почв важно выявление наличия и накопления этих элементов [2]. Диагностика состояния территорий выполняется с использованием интегральных показателей-индикаторов загрязнения почв, которые позволяют получить данные о накоплении химических веществ, в основном микроэлементов. Одним из таких индикаторов является суммарный показатель загрязнения (СПЗ или $Z_{C,}$) почв микроэлементами (МЭ), в основе которого расчет коэффициента концентрации, зависящий от фактического содержания элемента и его фонового содержания (используются значения зональных фоновых концентраций элементов). Широкое применение показателя Z_C сдерживается из-за ряда недостатков (например, прямая зависимость показателя Z_C от числа рассматриваемых элементов и отсутствие учета класса опасности химических элементов, вносящих максимальный вклад в формирование указанного показателя). В некоторых случаях используется индекс загрязнения почв (ИЗП), в котором применяются предельно и ориентировочно допустимые концентрации веществ — ПДК и ОДК [3]. Применение ИЗП дает возможность гигиенически обоснованно дифференцировать исследуемую территорию по степени опасности проживания населения.

Цель работы — оценка состояния почв в районе месторождения мела Шетпе Южное и цементного завода «Каспий Цемент», с применением интегральных показателей загрязнения почв: суммарного показателя загрязнения почв (СПЗ) и индекса загрязнения почв (ИЗП).

Материалы, методы исследования

Обследование района исследований проводилось маршрутным методом в 2018 году, с закладкой пробных площадок (ПП) на экологическом маршруте на месторождении мела Шетпе Южное и в районе завода «Каспий Цемент». Было заложено 4 площадки.

1) ПП-1 — пробная площадка заложена на расстоянии 75 м от ограждения промышленной площадки цементного завода.

2) ПП-2 — пробная площадка у подножья холмов, в районе автодороги транспортировки мела, с отвалами вскрышных пород высотой 5 м.

3) ПП-3 — пробная площадка заложена на расстоянии 1 500 м от ограждения завода на юго-западе месторождения мела Шетпе Южное.

4) ПП-4 (контрольная) — пробная площадка заложена в северной части месторождения мела и располагается на расстоянии 3 800 метров от ПП-2.

Отбор почвенных проб. Пробы отбирали по общепринятой в почвоведении методике в осенний период 2018 года. На пробных площадках ПП-1, ПП-2, ПП-3, ПП- 4 пробы отбирали с глубины 0–20 см. Пробы почв были отобраны пробоотборником методом конверта. Метод представляет отбор смешанной пробы из расчета 1 проба на 100 м^2 (площадка 10×10 м). Смешанный образец состоял из 5 почвенных проб, взятых конвертом из 5 точек. Отбирался средний образец весом 300–400 г. В целом пробы представляют собой смешанные образцы с 20 точек, то есть по 5 точек на всех пробных площадках. Подготовка образцов пробы к определению тяжелых металлов проводилась на базе лабо-

ратории Управления природных ресурсов и рационального природопользования (УПРиРП) Мангистауской области.

Определение тяжелых металлов в почве проводили методом атомно-абсорбционной спектрометрии с плазменной атомизацией с использованием ААС МГА-915М («Люмэкс», Россия) в аккредитованной лаборатории УПРиРП, согласно методике М-МВИ-80-80-2008 [1]. По причине того, что валовое содержание определяемых тяжелых металлов в почве было высоким, определены подвижные формы следующих элементов: Pb, Ni, Cr, Hg, V, Cu, Fe, Zn [4]. Определенные концентрации тяжелых металлов сравнивали с имеющимися фоновыми для расчета показателя Z_C и предельно допустимыми концентрациями (ПДК), для расчета ИЗП изученных веществ и для последующего сравнения этих показателей.

Методы геоинформационных технологий (ГИТ) использованы для создания и корректировки картографического материала. Карты-схемы района исследований выполняли с применением космоснимков и использованием программ семейства ГИС (Google Maps, Mapinfo Professionalv. 12). Редактирование карт, а также диаграммы и графики выполняли при помощи программ CorelDraw 11 и Paint (Windows XP).

Результаты исследований и обсуждение

Месторождение мела Шетпе Южное, в западной части которого построен цементный завод, расположено в зоне пустынь и полупустынь с характерными для них почвенно-растительными ассоциациями.

Почвенно-растительный покров описываемой территории относится к зоне полупустынной растительности. Почвенный покров представлен бурыми солонцеватыми почвами. В зоне глинистой и каменистой пустыни почвообразующие карбонатные и гипсоносные породы способствуют образованию маломощных щебенистых, карбонатных и загипсованных почв [5]. Широко распространены солончаки и такыры. Балл бонитета — 10,6. Рекомендуемая мощность снятия почвенно-растительного слоя составляет от 0 до 10 см.

Оценку степени загрязнения почв в районе исследований начали с расчета показателя Z_C. Суммарный показатель загрязнения почв микроэлементами, рассчитывается по формуле [6]:

$$Z_C = \sum_{i=1}^{n}(K_C) - (n-1), \quad (1)$$

где K_C — коэффициент концентрации i-го химического вещества; n — число учитываемых элементов с $K_C > 1$.

Коэффициент концентрации K_C химического вещества рассчитывается по следующей формуле:

$$K_C = \frac{C_i}{C_{фон}}, \quad (2)$$

где C_i — фактическое содержание вещества в почве, мг/кг; $C_{фон}$ — зональный фоновый показатель вещества, мг/кг.

[1]М-МВИ-80-80-2008. Методика выполнения измерений массовой дли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектрометрии. – СПб., 2008.

Фоновые концентрации химических веществ, если они определены правильно и корректно, могут служить важными критериями экологического благополучия населения в районах функционирования предприятий нефтегазового сектора и строительной индустрии.

Население поселков горного Мангистау в зоне пустынь и полупустынь исторически адаптировано к определенным количествам веществ в горных породах и почвах, а не к абстрактным кларкам, как в земной коре, литосфере так и в почвах мира. В результате исследования почв установлено, что содержание мышьяка As в почвах на фоновых площадках (в среднем 7,7 мг/кг) в несколько раз превышает не только среднее содержание в почвах (кларк в земной коре — 1,7 мг/кг), но и ПДК, принятые в Республике Казахстан для мышьяка 2,0 мг/кг [2]. При этом его концентрация на фоновых участках (7,7 мг/кг) превышает его содержание на загрязненных участках ($ПДК_{ср}$ = 5,3 мг/кг). Так, кларк мышьяка в почвах мира по В. В. Добровольскому равен 1,7 мг/кг, по А. П. Виноградову — 5 мг/кг [7]. В этой связи можно утверждать, что данные по содержанию некоторых элементов (в нашем случае, мышьяка и хрома в почвах) противоречивы.

В щелочных условиях растворимость мышьяка, а вместе с этим и его подвижность возрастают. В этой связи можно утверждать, что повышенное содержание мышьяка в Мангистауской области носит природный характер и также связано с естественными процессами накопления и миграции.

В наших исследованиях установлено, что в целом в верхнем слое (0–20 см) незагрязненной почвы содержание мышьяка было зафиксировано в пределах 1,3–12,7 мг/кг, что почти близко к оценке В. А. Ковды [8], согласно которой накопление As в интервале 2–20 мг/кг наименее опасное. По данным Д. С. Орлова [9], средняя концентрация мышьяка в почве изменяется в широком диапазоне 0,1–0,2 до 30–40 мг/кг.

Что касается хрома Cr, то в настоящее время в результате пересмотра в сторону уменьшения кларк хрома в почвах мира составляет 70 мг/кг (ранее 83 мг/кг) [10]. Фоновые концентрации As, Cd и Ba в почвах Мангистауской области незначительно выше их кларка в земной коре на 0,64, 0,14 и 0,7 соответственно. Для Pb, Ni, Cr, V, Zn их фоновые концентрации ниже на 1,6–5,15 раза их кларка в земной коре, при этом рассеяние Hg и Co составляет 8,0 и 14,1 раз соответственно (табл. 1).

Таблица 1

Приоритетные МЭ в почвах Мангистауской области (кларки в земной коре ($К_{з.к.}$), региональный фон (Ф), интенсивность рассеяния ($\frac{К_{з.к.}}{Ф}$))

Элемент	$К_{з.к.}$	Ф [2]	$\frac{К_{з.к.}}{Ф}$
	мг/кг		
As	1,7* (5,0)**	7,7	0,22 (0,64)
Cd	0,13	0,9	0,14
Cu	47	6,4	7,3
Ba	500	663	0,7
Ni	58	17,2	3,37
Pb	16	10,1	1,6

[2]Нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ, вредных организмов и других биологических веществ, загрязняющих почву, утвержденные совместным приказом Министерства здравоохранения Республики Казахстан от 30 января 2004 г. № 99 и Министерства охраны окружающей среды Республики Казахстан от 27 января 2004 г. – Астана, 2004. – № 21-П.

Продолжение табл. 1

Элемент	$К_{з.к.}$	Ф [2]	$\frac{к_{з.к.}}{Ф}$
	мг/кг		
V	90	20	4,5
Zn	83	16	5,18
Cr	83 (70)***	21,2	3,91 (3,03)
Hg	0,08	0,01	8,0
Co	18,0	1,28	14,1

*Примечание. * Добровольский В. В. [11],** Виноградов А. П. [12],*** Водяницкий Ю. Н. [10].*

Необходимо отметить, что широкое применение показателя Z_C с использованием фоновых значений в некоторых случаях не дает корректных результатов. Основные, сдерживающие использование Z_C, аспекты [13]:

- разная трактовка фоновой концентрации исследуемых элементов $C_{i(фон)}$: «фоновое», «региональное фоновое», «зональное фоновое»;
- зависимость объективности фоновых характеристик от субъективных факторов (правильность выбора фоновых участков; достоверность отбора проб и способ их хранения и подготовки к анализу; наличие аттестованной лаборатории; метод расчета фонового содержания, то есть простое осреднение или вычисление среднего значения; квалификация специалистов, выполняющих комплекс исследовательских работ);
- трудности, возникающие при определении фоновых концентраций элементов, зависящие от почвенно-климатических условий;
- прямая зависимость показателя Z_C от числа изучаемых элементов и отсутствие учета класса опасности химических элементов, вносящих максимальный вклад в формирование указанного показателя.

К перечисленным недостаткам можно добавить и изменение величины фоновых концентраций элементов, отмеченных в таблице 1.

Изменчивость во времени фоновых концентраций металлов (Сф) и значения Z_C, рассчитанные в 2013 и в 2018 годах в районе месторождения мела Шетпе Южное, в районе которого функционирует цементный завод «Каспий Цемент», приведены в таблице 2. Видно, что при использовании показателя Z_C, использующего фоновые значения, в итоге получается занижение гигиенической опасности.

Таблица 2

Результаты изменчивости во времени фоновых концентраций металлов (Сф) и значения Z_C, рассчитанные в 2013 и в 2018 годах по итогам мониторинга в районе карьера мела и завода «Каспий Цемент»

Сф, по годам	Тяжелые металлы, мг/кг							Z_C (2018)*
	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	As	
2013	0,9	34	12	8,6	16	30	7,7	6,8 (3,1–8,3)
2018	1,47	40	15	13,1	39	55	11,3	3,3 (0,3–7,4)
Изменения								
$\frac{2018}{2013}$	1,63	1,17	1,25	1,52	2,43	1,83	1,46	Занижение гигиенической опасности в 2 раза

Примечание. Z_C *перед скобками — среднее значение; в скобках — диапазон значений* Z_C*, в районе исследований при расчете на фон в 2013 и 2018 годах.*

Согласно данным таблицы 1 (фоновые значения элементов) и таблицы 3 (фактическое содержание элементов в почве), вычислим K_C.

Ниже представлен расчет суммарного показателя загрязнения почвы Z_C, с определением концентрации элементов K_C для пробных площадок.

$$K_{C\ (ПП-1)(Cd+Cu+Ni+Pb+Zn+Cr+As)} = \frac{1{,}09}{0{,}9} + \frac{7{,}46}{6{,}4} + \frac{18{,}3}{17{,}2} + \frac{16{,}3}{10{,}1} + \frac{13{,}5}{16{,}0} + \frac{11{,}3}{21{,}2} + \frac{6{,}3}{7{,}7} = 1{,}21 + 1{,}17 + 1{,}06 + 1{,}58 + 0{,}84 + 0{,}53 + 0{,}82 = 7{,}24,$$

$$Z_{C(ПП-1)} = \sum_{i=1}^{n}(K_C) - (n-1) = 7{,}24 - (3-1) = 5{,}24, \qquad Z_{C(ПП-2)} = 5{,}26,$$

$$Z_{C(ПП-3)} = 4{,}41. \quad Z_{C(ПП-4)} = 3{,}58.$$

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов в почвах площадок ПП-1, ПП-2 и ПП-3, мг/кг

Дата	$H_{о.проб}$, см	Содержание химических веществ почвах, мг/кг						
		Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	As
«Каспий Цемент». ПП-1. Координаты: N44°05'28,17". E52°07'06,12"								
Осень 2018 г.	0–20	1,09	7,46	18,3	16,3	13,5	11,3	6,3
«Каспий Цемент». ПП-2. Координаты: N44°05'25,29". E52°07'54,32"								
Осень 2018 г.	0–20	1,47	12,1	25,1	19,4	26,8	13,7	7,9
«Каспий Цемент». ПП-3. Координаты: N44°04'37,57". E52°05'53,20"								
Осень 2018 г.	0–20	1,13	5,79	7,2	11,5	11,3	8,1	4,7
«Каспий Цемент». ПП-4. Координаты: N44°06'24,98". E52°10'24,59"								
Осень 2018 г.	0-20	0,65	3,24	3,6	8,7	9,2	5,7	3,3
Mean ± *SD*								
Осень 2018 г. ПП-1 (n = 5)		1,09±0,98	7,46±0,79	18,3±0,68	16,3±0,47	13,5±1,31	11,3±1,43	6,3±0,77
Осень 2018 г. ПП-1 (n = 5)		1,47±0,62	12,1±0,87	25,1±0,56	19,4±0,75	26,8±2,04	13,7±0,99	7,9±0,83
Осень 2018 г. ПП-1 (n = 5)		1,13±0,82	5,79±0,71	7,21±0,24	11,5±3,43	11,3±2,09	8,1±0,55	4,7±0,36
Осень 2018 г. ПП-1(n = 5)		0,65±0,46	3,24±0,57	3,6±0,31	8,7±1,11	9,2±1,85	5,7±0,42	3,3±0,21
ПДК (мг/кг)		5,0	3,0	4,0	32,0	23,0	6,0	2,0

Из результатов расчетов загрязнения почв на пробных площадках ПП-1, ПП-2, ПП-3 и ПП-4 видно, что нет возможности более объективно оценить степень загрязнения почв, так как расчет показателя Z_C ограничен учетом только тяжелых металлов, для которых K_C меньше 1.

Величины Z_C для ПП-1 (всего 75 м от ограждения промплощадки цементного завода) и для ПП-2 (в районе автодороги транспортировки мела с отвалами вскрышных пород) почти не отличаются и равны 5,24 и 5,26.

При этом показатель (Z_C = 4,41) по расчетам выявлен на ПП-3, которая расположена от завода на расстоянии более 1 500 м, и на контрольной площадке значение Z_C = 3,58 ед, что не намного ниже значения Z_C на наиболее загрязненном участке промплощадки завода ПП-2 — Z_C = 5,26.

Согласно МУ 2.1.7.730-99, по суммарному показателю Z_C категория загрязнения почв по возможности влияния на здоровье населения оценивается

как допустимая — при его величине менее 16, умеренно опасная — при 16–32, опасная — при 32–128 и чрезвычайно опасная — более 128 [14].

Таким образом, в наших расчетах СПЗ почв почти не составляет даже половины величины 16 этого показателя.

Тем не менее мы должны согласно этому индикатору оценить состояние всех пробных площадок как «допустимое», с уровнем загрязнения $Z_C < 16$ (неопасное) на всех обследованных пробных площадках, включая как техногенные площадки ПП-1 и ПП-2, так удаленные площадки ПП-3 и ПП-4 (контрольную площадку).

Далее диагностику состояния почв исследуемого района проводили с применением показателя ИЗП. Что касается показателя ИЗП, то его расчеты выполняются с использованием ПДК и ОДК веществ.

Индекс загрязнения почв позволяет более обоснованно оценить степень опасности для населения. Показатель вычисляется по формуле [3, 13]:

$$ИЗП = \sum_m^i \left(\frac{\frac{C_i}{C_{ПДК}}}{n} \right) = \sum_m^i \left(\frac{K_o}{n} \right), \quad (3)$$

где $\frac{C_i}{C_{ПДК}}$ — отношение содержания вещества в точке отбора пробы к нормативу (или K_o — коэффициент опасности); n — любое, но фиксированное на исследуемой площади количество ингредиентов.

Значения ПДК (мг/кг) изучаемых тяжелых металлов приведены в таблице 3. На рисунке 1 представлена гистограмма динамики содержания тяжелых металлов в почвах пробных площадок, полученная путем их сравнения с имеющимися ПДК.

Для кадмия превышение ПДК не обнаружено ни в одной из проб. По меди превышение 4 ПДК зафиксировано на ПП-2 (район транспортировки мела), а также 2,4 и 1,9 ПДК на ПП-1 и ПП-3 соответственно.

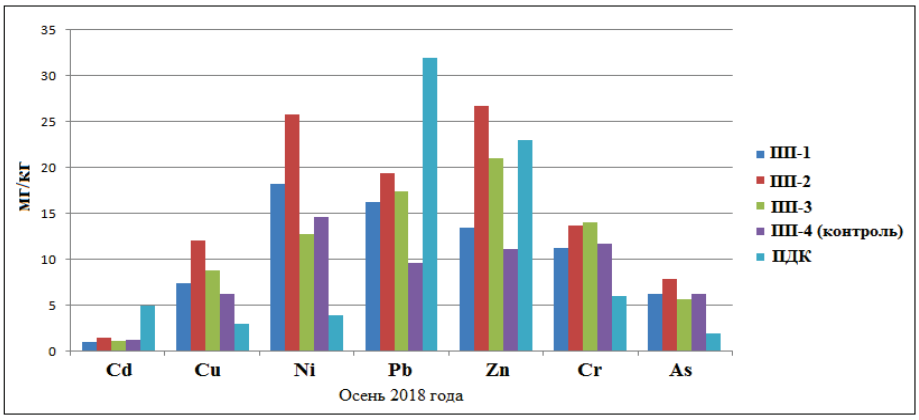

Рис. 1. ***Динамика содержания тяжелых металлов в почвах ПП-1, ПП-2, ПП-3, ПП-4***

По никелю обнаружено самое высокое превышение ПДК — более 6 — также на ПП-2, при этом на ПП-1 и ПП-3 — 4,6 и 1,8 ПДК соответственно. Для свинца превышений не зафиксировано. По цинку только в районе

автодороги доставки мела и отвалов пород на ПП-2 обнаружено незначительное превышение ПДК [5, 15, 16].

По хрому, превышение более 2 ПДК зафиксировано на ПП-2, на ПП-1 и ПП-3 — 1,9 и 1,3 ПДК соответственно.

Для мышьяка наибольшее превышение 4,95 ПДК на ПП-2, а также 3,15; 2,3 и 1,7 ПДК — на ПП-1, ПП-3 и ПП-4 (контроль) соответственно. Превышение мышьяка носит природный характер [5, 10]. На ПП-4 (контроль), заложенной на расстоянии 4 000 м от завода, зафиксировано небольшое превышение по мышьяку — 1,6 ПДК и меди — 1,1 ПДК.

Принцип расчета индекса загрязнения почв (ИЗП) дает возможность диагностировать исследуемый район по регулярной сети отбора поверхностных проб почв на землях разного функционального назначения [3, 13, 14]. Приведем результаты расчета ИЗП. Для ПП-1, ПП-2, ПП-3 и ПП-4 (контроль) получены следующие значения:

$$ИЗП_{(ПП\text{-}1)} = \frac{1{,}09}{5{,}0} + \frac{7{,}46}{3{,}0} + \frac{18{,}3}{4{,}0} + \frac{16{,}3}{32{,}0} + \frac{13{,}5}{23{,}0} + \frac{11{,}3}{6{,}0} + \frac{6{,}3}{2{,}0} = 0{,}22 + 2{,}48 + 4{,}58 + $$
$$+ 0{,}51 + 0{,}59 + 1{,}88 + 3{,}15 = 13{,}4/7 = 1{,}92,$$

$$ИЗП_{(ПП\text{-}2)} = 17{,}66/7 = 2{,}52, \quad ИЗП_{(ПП\text{-}3)} = 8{,}05/7 = 1{,}15,$$

$$ИЗП_{(ПП\text{-}4.\ Контроль)} = 5{,}38/7 = 0{,}74.$$

По результатам расчетов установлено, что большинство проб почв, в частности на ПП-1, ПП-2 и ПП-3, обладают показателями ИЗП > 1, что характеризует почвы как «загрязненные». Только на контрольной площадке ПП-4, удаленной от завода более чем 4 000 м, этот показатель составляет 0,74, что при ИЗП (0,75–1,0) характеризует почвы по категории загрязнения как «чистые».

В таблице 4 приводятся результаты анализов основных загрязнителей (приняты средние значения подвижных форм, изучаемых элементов для всех пробных площадок) почв с показателями-индикаторами СПЗ и ИЗП.

Таблица 4

Результаты анализа тяжелых металлов и показателей СПЗ и ИЗП

Участки отбора проб	Тяжелые металлы по классу опасности							СПЗ или Z_C	ИЗП
	I класс				II класс				
	As	Cd	Pb	Zn	Cr	Cu	Ni		
ПП-1	6,3	1,09	16,3	13,5	11,3	7,46	18,3	5,24	1,92
ПП-2	7,9	1,47	19,4	26,8	13,7	12,1	25,1	5,26	2,52
ПП-3	4,7	1,13	11,5	11,3	8,1	5,79	7,2	4,41	1,15
ПП-4	3,3	0,65	8,7	9,2	5,7	3,24	3,6	3,58	0,74
ПДК (мг/кг)	2,0	5,0	32,0	23,0	6,0	3,0	4,0	–	–

Карта-схема района исследований с результатами расчетов показателей Z_C и ИЗП приведена на рисунке 2.

Статистическая обработка результатов исследования

Ранговый дисперсный анализ (ДА) показал, что критерий Краскела — Уоллиса статистически значим только для Ni и As (p < 0,05) для почвенных проб пробной площади ПП-2 (на участке перевозки мела и отвалов).

По медианному тесту (общая медиана равна 3,9, при том что для ПП-4 (контроль) значение общей медианы равно было 1,65).

Наибольшими ранговыми суммами относительно содержания никеля и мышьяка характеризуются выборки, составленные по двум пробным площадкам ПП-1 (промплощадка) в пределах (67,5; 69,8) и ПП-2 (57,0; 49,7), которые вносят максимальный вклад в различия по содержанию этих элементов между всеми группами. Наименьшая ранговая сумма относительно содержания Ni получена для контрольной площадки.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено содержание тяжелых металлов в почвах в районе месторождения мела Шетпе Южное и завода «Каспий Цемент». Главной характерной чертой изученных почв является повышенное содержание никеля, меди и мышьяка в почвах ПП-2, в районе транспорта мела и отвалов вскрышных пород карьера мела. Превышение ПДК никелем и медью обусловлено особенностями загрязнения окружающей среды, в частности почв, в результате горных работ по добыче и доставке мела. Превышение мышьяка носит природный характер.

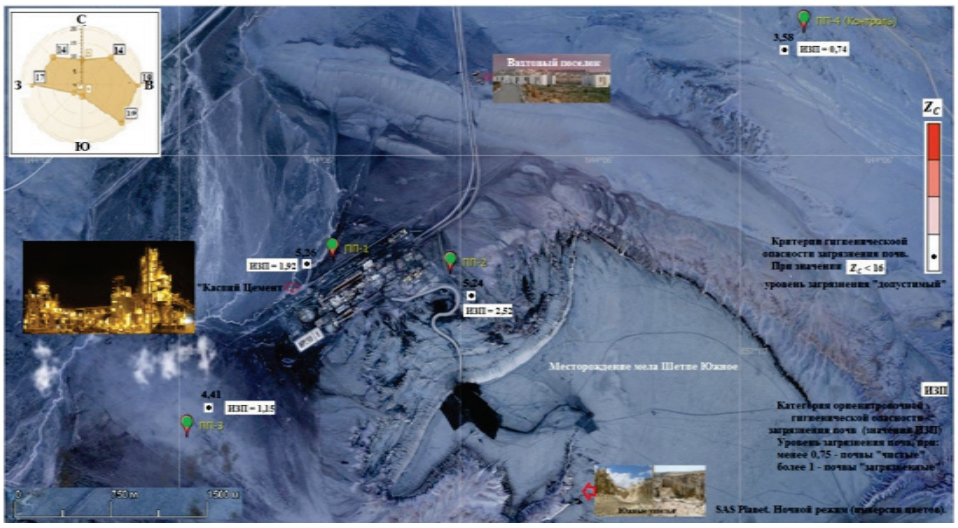

Рис. 2. ***Карта-схема района исследований с результатами расчетов показателей Z_C и ИЗП (выполнена в среде SAS Planet)***

Согласно расчетам, суммарный показатель загрязнения почв для всех пробных площадок оказался намного ниже величины Z_C < 16 допустимое (неопасное).

Величины получены в следующем порядке: для ПП-1— Z_C = 5,24; для ПП-2 — Z_C = 5,26; для ПП-3 — Z_C = 4,41 и для ПП-4 (контроль) — Z_C = 3,58 ед.

Из этого следует, что нет возможности более объективно оценить степень загрязнения почв, так расчет показателя (СПЗ) или Z_C ограничен учетом только тяжелых металлов, для которых K_C меньше 1.

В этой связи целесообразно использование предложенного Ю. Н. Водяницким комплексного показателя СПЗ, учитывающего параметры, применяющиеся в расчетах, и позволяющего получить более точные результаты расчетов. Для получения более конкретной информации о состоянии почв в районе месторождения мела и цементного завода применили индекс загрязнения почв (ИЗП). В результате расчетов с использованием ИЗП установлено, что большинство проб почв, в частности на ПП-1, ПП-2 и ПП-3, обладают показателями ИЗП > 1, что характеризует почвы как «загрязненные». Только на контрольной площадке ПП-4 этот показатель составляет 0,74, что при ИЗП (0,75–1,0) характеризует почвы по категории загрязнения как «чистые». Отметим, что на объективность оценки состояния почв в работе скорее всего повлияло то, что отбор проб почвы в нашем случае ограничивался 20 см. В этой связи для более детального изучения проблемы загрязнения почв в районах техногенных объектов необходимо производить отбор на всю глубину почвенного покрова.

Это позволит проследить динамику изменения содержания тяжелых металлов вниз по профилю и более точно определить глубину загрязнения и причину, а также возможность прогнозирования миграции загрязняющих веществ в почве [16–18].

Библиографический список

1. О состоянии экологической обстановки в Мангистауской области и источниках его загрязнения. Управление природных ресурсов и регулирования природопользования Мангистауской области (УПРиРП). – Актау, 2017. – 62 с.
2. Водяницкий Ю. Н. Об опасных тяжелых металлах/металлоидах в почвах // Бюллетень Почвенного института В. В. Докучаева. – 2011. – Вып. 68. – С. 56–82.
3. Водяницкий Ю. Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами // Почвоведение. – 2010. – № 10. – С. 1276–1280.
4. Семендяева Н. В., Мармулев А. Н., Добротворская Н. И. Методы исследования почв и почвенного покрова: учеб. пособие / Новосибирский. гос. аграр. ун-т, СибНИИЗиХ. – Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2015. – 202 с.
5. Studying state of soils in South shetpe chalk deposit / A. Zhidebayeva [et. al] // EEC-EM - Ecology, Environment and Conservation (0971765X-India-Scopus), 03, 385758. – 2018. –24 (3) P. 1065–1068.
6. Алексеенко В. А., Бузмаков С. А., Панин М. С. Геохимия окружающей среды: учеб. пособие для вузов. – Пермь, 2013. – 359 с.
7. Виноградов Б. В., Орлов В. П., Снакин В. В. Биотические критерии выделения зон экологического бедствия России // Изв. РАН. Серия географическая. – 1993. – № 5. – С. 13–27.
8. Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова. – М.: Наука, 1985. – 264 с.
9. Орлов Д. С., Садовникова Л. К., Суханова Н. И. Химия почв. – М.: Высшая школа, 2005. – 558 с.
10. Водяницкий Ю. Н. Хром и мышьяк в загрязненных почвах. Обзор литературы // Почвоведение. – 2009. – № 5. – С. 551–559.
11. Добровольский В. В. География микроэлементов: глобальное рассеяние. – М.: Мысль, 1983. – 272 с.
12. Виноградов А. П. Среднее содержание элементов в земной коре // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–557.
13. Богданов Н. А., Чуйков Ю. С., Рыбкин В. С. Метод оценки состояния земель по индексу загрязнения почв // Астраханский вестник экологического образования. – № 1 (23). – 2013. – С. 102–112.

14. Оценка полиэлементной токсикации почв / А. А. Околелова [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 3–2. – С. 296–300.

15. Dabkowska- Naskrt H., Jaworska H. , Długosz J. Assessment of the Total Nickel Content and its Available Forms in the Soils Around Cement Plant Lafarge Poland. Int J Environ Res.– 2014. – Vol. 8, Issue 1. – P. 231–236. DOI: 10.22059/ IJER.2014.712

16. EL-Bady MSM. Spatial Distribution of some Important Heavy Metals in the Soils South of Manzala Lake in Bahr El-Baqar Region, Egypt // Nova Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2014. – Vol. 2, Issue 3. – P. 1–15.

17. Богданов Н. А., Бармин А. Н., Иолин М. М. Анализ микроэлементного состава почвогрунта при диагностике изменчивости состояния урбанизированных территорий // Проблемы региональной экологии. – 2011. – № 4. – С. 76–81.

18. Solgi E., Khodabandelo H. Cadmium and Lead Disruption in Soils Around the Hegmatan Cement Factory, Iran EisaSolgi, and HadiKhodabandelo // Health Scope. – 2016. – Vol. 5, Issue 2. – P. 1–7. DOI: 10.17795/jhealthscope-34184

Сведения об авторах

Айтимова Айнажан Маратовна, *аспирант кафедры географии, картографии и геоинформатики, Астраханский государственный университет, г. Астрахань, e-mail: aitimova_ainazhan@mail.ru*

Кенжетаев Гусман Жардемович, *д. т. н., профессор, Каспийский государственный университет технологии и инжиниринга им. Ш. Есенова, г. Актау, Республика Казахстан*

Пермяков Владимир Николаевич, *д. т. н., профессор кафедры техносферной безопасности, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень*

Information about the authors

Aynazhan M. Aitimova, *Postgraduate at the Department of Geography, Cartography and Geoinformatics, Astrakhan State University, e-mail: aitimova_ainazhan@mail.ru*

Gusman Zh. Kenzhetayev, *Doctor of Engineering, Professor, Caspian State University of Technologies and Engineering named after Sh. Yessenov, Aktau, the Republic of Kazakhstan*

Vladimir N. Permyakov, *Doctor of Engineering, Professor at the Department of Technosphere Safety, Industrial University of Tyumen*