

СОДЕРЖАНИЕ КАДМИЯ В ПИТЬЕВЫХ ВОДАХ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

А. В. Каримова

Изучены основные эколого-геохимические особенности содержания, распределения, варьирования, миграции макрокомпонентов и ионов кадмия в питьевых водах Восточно-Казахстанской области. Дана экологическая оценка питьевых вод исследуемого региона.

Ключевые слова: питьевая вода, Восточно-Казахстанская область, кадмий, макрокомпонентный состав, мониторинг, водозабор, гидрогеохимический эталон, геоморфологическая зональность.

По данным Всемирной организации здравоохранения, сегодня на планете больше 80% заболеваний связано с употреблением некачественной воды. Согласно данным этой организации, серьезное загрязнение питьевой воды приводит ежегодно к смерти на нашей планете 25 млн. людей, так как с питьевой водой в организм человека поступает до 40 % токсичных веществ. Поэтому изучение химического состава питьевых вод имеет определяющее значение при химическом и экологическом мониторинге водоемов и прогнозе качества источников питьевого водоснабжения.

Восточно-Казахстанский регион общей площадью 283,3 тыс. км² отличается благоприятными природными гидрогеологическими условиями для формирования пресных, реже слабосоленых подземных вод.

В данной работе представлен экспериментальный материал по химическому составу питьевых вод Восточно-Казахстанской области, а также уровень концентрации в них кадмия, поскольку этот элемент является одним из наиболее токсичных, как для растений, так и для теплокровных организмов. Кадмий ингибирует синтез ДНК, белков и нуклеиновых кислот, влияет на активность ферментов, его избыток нарушает усвоение и обмен других микроэлементов (Zn, Cu, Se, Fe), может вызывать их дефицит. В связи с высокой токсичностью этого элемента его мониторинг в питьевых водах крайне необходим [1].

Объектами исследования послужили 333 пробы питьевой воды, отобранные с различных районов Восточно-Казахстанской области, из них 127 проб воды – «из крана», 92 пробы воды – «с колонок», 76 проб воды – «с колодца», по 19 проб воды – «из скважин» и воды «из родника».

Отбор проб воды, их хранение, транспортировка и подготовка к анализу проводилась в соответствии с рекомендациями и утвержденными ГОСТ (ГОСТ 51592-2000; 51593-2000) и стандартами (ИСО 566711; 566717) [2].

Определение кадмия осуществлялось фотоколориметрическим методом по прописи Ю. Ю. Лурье «Унифицированные методы анализа питьевых вод» [3]. Определение физико-химических параметров воды проводилось согласно межгосударственным стандартам (ГОСТ 4389-72, 26449.1-85, 18826-73, 4245-72). Содержание суммы ионов натрия и калия установили математическим вычислительным методом. рН определяли потенциометрией на преобразователе – ионометрическом И-500.

Полученный экспериментальный материал обработан вариационно-статистическим, корреляционным, регрессионным методами, по руководству Н. А. Плохинского [4] с использованием программ STATISTICA и Microsoft Excel.

Вариационно-статистические показатели содержания кадмия и макрокомпонентного состава питьевых вод Восточно-Казахстанской области представлены в таблице 1.

Проведённое исследование позволило установить квалификационный тип питьевой воды исследуемого региона, изучить его влияние на концентрацию ионов кадмия, рассчитать формулу солевого состава для каждого типа воды.

По значению рН 67 % исследуемых проб питьевой воды имеют нейтральную (6,5–7,5), 33 % – слабощелочную (7,5–8,5) реакцию.

По классификации А.М. Овчинникова [5] значительная часть исследованных проб питьевой воды по величине общей минерализации (сухого остатка) относится к ультрапресным (до 200 мг/дм³), пресным (200–

500 мг/дм³), реже встречаются солоноватые воды (1000–3000 мг/дм³) и воды с относительно повышенной минерализацией (500–1000 мг/дм³). На долю ультрапресных вод приходится 45,4 % исследованных проб, пресных – 36,3 %, солоноватых – 4,2 % и на долю вод с относительно повышенной минерализацией – 14,1 % проб.

По классификации О.А. Алёкина [6] 4,5 % исследуемых вод относятся к очень мягким (<1,5 мг-экв/дм³), 46,9 % – к мягким (1,5–3,0 мг-экв/дм³), 31,2 % – к умеренно жёстким (3,0–6,0 мг-экв/дм³), 9,6 % – к жёстким (6,0–9,0 мг-экв/дм³), 7,8 % – к очень жёстким водам (9,0 > мг-экв/дм³).

Таблица 1 – Вариационно-статистические показатели содержания кадмия и макрокомпонентного состава питьевых вод Восточно-Казахстанской области (n = 333)

Параметры	$\bar{X} \pm S_x$	lim	ρ	σ	$C_v, \%$	M_0	M_e
pH	7,37±0,02	6,69–8,32	1,63	0,31	4,25	7,54	7,34
Сухой остаток	329,77±14,68	95–1640	1545	267,85	81,22	185	212
Общая жёсткость	4,02±0,15	1,05–15,09	14,04	2,76	68,75	2,62	2,99
HCO ₃ ⁻	163,04±3,41	62–551	489	62,23	38,17	134	145
Cl ⁻	64,76±4,90	5–600	595	89,44	138,10	16	29
SO ₄ ²⁻	63,13±4,13	3–519	516	75,38	119,41	24	36
NO ₃ ⁻	6,11±0,68	0,03–106	105,97	12,37	202,46	0,37	1,41
Ca ²⁺	44,74±1,23	13–146	133	22,50	50,30	28	37
Mg ²⁺	21,63±1,16	2–116	114	21,22	98,12	10	14
Na ⁺ +K ⁺	46,95±3,27	4–565,4	561,4	59,72	127,20	19	26,4
Cd	0,38±0,02	0,02 – 2,62	2,6	0,35	90,29	0,05	0,27

Примечание: Здесь и далее: n – количество проб, $\bar{X} \pm S_x$ – среднее ± ошибка среднего, σ – стандартное отклонение, lim – размах лимитов, ρ – разность между лимитами, C_v % – коэффициент вариации, M_0 – мода, M_e – медиана. Единица измерения для основных ионов воды – мг/дм³, общей жесткости – мг-экв/дм³, кадмия – мкг/дм³

Классификация питьевых вод по химическому составу и составленная на её основе формула Курлова в модификации Соколова [7], представляющая собой псевдодробь, в числителе которой слева направо записаны анионы в порядке убывания массовой доли эквивалента, а в знаменателе – катионы представлены в таблице 2. Из данной таблицы следует, что большинство исследованных проб питьевой воды по преобладающему аниону относятся к классу гидрокарбонатных, а по преобладающему катиону – к группе кальциевых вод, на долю которых приходится 65,5 % обследованных проб. Реже встречаются гидрокарбонатно-натриево-калиевые (11,7 %), хлоридно-натриево-калиевые (7,2 %), гидрокарбонатно-магниевые (5,7 %), хлоридно-магниевые (5,1 %) воды. Наименее распространены на исследуемой территории хлоридно-кальциевые (2,1 %), сульфатно-магниевые (1,2 %), сульфатно-натриево-калиевые (0,9 %) и сульфатно-кальциевые (0,6 %) воды.

Содержание кадмия в исследуемых водах колеблется от 0,02 до 2,62 мкг/дм³, в среднем составляя 0,38 мкг/дм³, при коэффициенте вариации 90,29 %.

Сопоставление эмпирических и теоретических частот распределения кадмия показано на рисунке 1. Из которого видно, что распределение кадмия в исследуемых водах не подчиняется закону нормального распределения, что подтверждает рассчитанный нами критерий Пирсона ($\chi^2 = 127,0$), который в 9 раз выше его стандартного значения ($\chi^2_{st} = 13,8$). К тому же значения моды ($M_0 = 0,05$) и медианы ($M_e = 0,27$) не совпадают со средней концентрацией кадмия в исследуемых водах (0,38 мкг/дм³).

Классы содержания кадмия в питьевых водах и процент их от общего количества представлен в таблице 3.

Из таблицы видно, что модальным классом распределения кадмия является класс < 0,32 мкг/дм³, на который приходится 55,9 % от всех изученных проб питьевой воды.

СОДЕРЖАНИЕ КАДМИЯ В ПИТЬЕВЫХ ВОДАХ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Таблица 2 – Классификация питьевых вод Восточно-Казахстанской области по химическому составу

Тип воды	Формула Курлова	% от общего количества
$\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$	$M0,22 \frac{63 \text{HCO}_3 \ 19\text{Cl} \ 17\text{SO}_4 \ 1\text{NO}_3}{49 \text{Ca} \ 28 \text{Mg} \ 23 \text{Na} + \text{K}} \text{pH } 7,4$	65,5
$\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ + \text{K}^+$	$M0,29 \frac{58 \text{HCO}_3 \ 22\text{Cl} \ 20\text{SO}_4 \ 1\text{NO}_3}{47 \text{Na} + \text{K} \ 35 \text{Ca} \ 18 \text{Mg}} \text{pH } 7,5$	11,7
$\text{Cl}^- - \text{Na}^+ + \text{K}^+$	$M0,84 \frac{48\text{Cl} \ 26\text{HCO}_3 \ 24\text{SO}_4 \ 2\text{NO}_3}{50 \text{Na} + \text{K} \ 26 \text{Ca} \ 24 \text{Mg}} \text{pH } 7,3$	7,2
$\text{HCO}_3^- - \text{Mg}^{2+}$	$M0,34 \frac{56 \text{HCO}_3 \ 22\text{Cl} \ 22\text{SO}_4 \ 1\text{NO}_3}{44 \text{Mg} \ 34 \text{Ca} \ 23 \text{Na} + \text{K}} \text{pH } 7,2$	5,7
$\text{Cl}^- - \text{Mg}^{2+}$	$M0,8 \frac{51\text{Cl} \ 25 \text{HCO}_3 \ 22\text{SO}_4 \ 2\text{NO}_3}{44 \text{Mg} \ 28 \text{Ca} \ 27 \text{Na} + \text{K}} \text{pH } 7,4$	5,1
$\text{Cl}^- - \text{Ca}^{2+}$	$M0,48 \frac{42\text{Cl} \ 36 \text{HCO}_3 \ 20\text{SO}_4 \ 1\text{NO}_3}{46 \text{Ca} \ 31 \text{Mg} \ 23 \text{Na} + \text{K}} \text{pH } 7,3$	2,1
$\text{SO}_4^{2-} - \text{Mg}^{2+}$	$M0,94 \frac{46\text{SO}_4 \ 25 \text{HCO}_3 \ 24\text{Cl} \ 5\text{NO}_3}{47 \text{Mg} \ 34 \text{Ca} \ 20 \text{Na} + \text{K}} \text{pH } 7,3$	1,2
$\text{SO}_4^{2-} - \text{Mg}^{2+}$	$M0,94 \frac{46\text{SO}_4 \ 25 \text{HCO}_3 \ 24\text{Cl} \ 5\text{NO}_3}{47 \text{Mg} \ 34 \text{Ca} \ 20 \text{Na} + \text{K}} \text{pH } 7,3$	1,2
$\text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+ + \text{K}^+$	$M0,9 \frac{46\text{SO}_4 \ 27\text{Cl} \ 26 \text{HCO}_3 \ 1\text{NO}_3}{47 \text{Na} + \text{K} \ 27 \text{Ca} \ 27 \text{Mg}} \text{pH } 7,4$	0,9
$\text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+}$	$M0,43 \frac{42\text{SO}_4 \ 31 \text{HCO}_3 \ 27\text{Cl} \ 1\text{NO}_3}{41 \text{Ca} \ 33 \text{Mg} \ 27 \text{Na} + \text{K}} \text{pH } 7,3$	0,6
Средняя	$M0,33 \frac{55 \text{HCO}_3 \ 24\text{Cl} \ 19\text{SO}_4 \ 1\text{NO}_3}{43 \text{Ca} \ 28 \text{Mg} \ 28 \text{Na} + \text{K}} \text{pH } 7,4$	–

Примечание: минерализация выражена в г/дм³

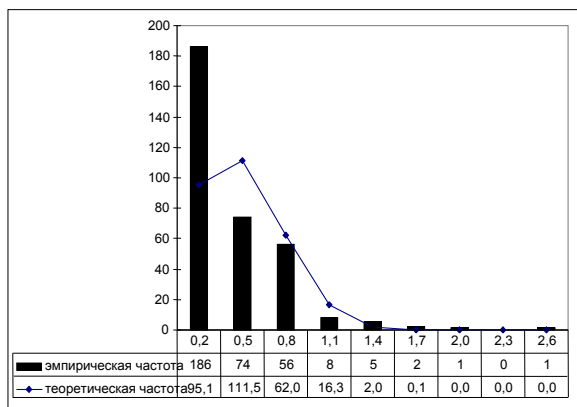


Рисунок 1 – Вариационный ряд распределения кадмия в питьевых водах Восточно-Казахстанской области

Таблица 3 – Классы содержания кадмия в питьевых водах Восточно-Казахстанской области

Классы содержания Cd	% от общего количества
< 0,32	55,9
0,32–0,62	22,2
0,62–0,92	16,8
0,92–1,22	2,4
1,22–1,52	1,5
1,52–1,82	0,6
1,82–2,12	0,3
2,12–2,42	0
2,42–2,72	0,3

Изучена корреляционная и регрессионная зависимости содержания кадмия в питьевых водах от физико-химических параметров вод (таблица 4, рисунок 2).

Результаты корреляционного анализа показали, что кадмий со всеми компонентами макросостава имеет достоверные связи (таблица 4). Между содержанием кадмия в исследуемых водах и pH установлена обратная

слабая корреляция, при $r = -0,17$, $t_r = -3,12$. Действительно, между содержанием кадмия в нейтральных и слабощелочных водах существенной разницы нет (рисунок 3 г).

Таблица 4 – Корреляционная зависимость распределения кадмия в питьевых водах от физико-химических параметров воды

Физико-химические параметры воды	$r \pm m_r$ t
pH	$-0,17 \pm 0,05$ -3,12
Сухой остаток	$0,43 \pm 0,04$ 9,61
HCO_3^-	$0,24 \pm 0,05$ 4,59
Cl^-	$0,37 \pm 0,05$ 7,76
SO_4^{2-}	$0,46 \pm 0,04$ 10,66
NO_3^-	$0,42 \pm 0,05$ 9,23
Общая жёсткость	$0,45 \pm 0,04$ 10,45
Ca^{2+}	$0,49 \pm 0,04$ 11,87
Mg^{2+}	$0,39 \pm 0,05$ 8,38
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	$0,30 \pm 0,05$ 6,10

Примечание: $r \pm m_r$ – коэффициент корреляции и его ошибка, t – критерий достоверности

Между концентрацией кадмия и сухим остатком обнаружена прямая корреляционная связь, коэффициент корреляции оказался равным 0,43, при критерии достоверности 9,61. Данная зависимость описывается уравнением регрессии:

$\text{CO} = 332,23 \text{ Cd} + 202,2$, при $R^2 = 0,1849$ (рисунок 2).

Из уравнения видно, что концентрация кадмия увеличивается с повышением значения сухого остатка и наоборот.

Действительно, сравнивая содержание кадмия в водах, ранжируемых по значению сухого остатка, мы видим, что более низкие концентрации кадмия характерны для ультрапресных вод, а более высокие – для солоноватых вод (рисунок 3 б).

Аналогичную зависимость можно проследить, изучая изменение концентрации

кадмия от общей жесткости исследуемых вод. По мере увеличения величины общей жесткости содержание кадмия в питьевых водах повышается (рисунок 3 в). Установлено, что концентрация кадмия в очень жестких водах в 3,5 раза выше, чем в очень мягких. Вышесказанное подтверждает критерий достоверности коэффициента корреляции равный 10,45 что в 3 раза выше критического для данной выборки ($n=333$).

Самый высокий коэффициент корреляции равный 0,46 установлен для кадмия от сульфат-ионов. Данная зависимость описывается уравнением регрессии: $\text{SO}_4^{2-} = 100,2 \text{ Cd} + 24,649$, при $R^2 = 0,2124$ (рисунок 2).

Из уравнения следует, что содержание кадмия в исследуемых водах с повышением сульфат-ионов возрастает. Действительно, самые высокие концентрации кадмия установлены для сульфатно-магниевых вод (рисунок 3 а). Сказанное подтверждает критерий достоверности коэффициента корреляции равный 10,66.

От остальных компонентов макросостава установлены прямые корреляционные связи слабой степени.

Результаты исследования, позволили выявить ряд факторов, влияющих на концентрацию и варьирование кадмия в исследуемых водах. К ним относятся: химический тип воды, величины жесткости и сухого остатка.

По величине средней концентрации кадмия (мкг/дм^3) типы вод (рисунок 3 а) располагаются в следующем возрастающем порядке: гидрокарбонатно-кальциевые (0,3) = гидрокарбонатно-натриево-калиевые (0,3) < гидрокарбонатно-магниевые (0,4) = сульфатно-кальциевые (0,4) = сульфатно-натриево-калиевые (0,4) < хлоридно-натриево-калиевые (0,6) = хлоридно-магниевые (0,6) = хлоридно-кальциевые (0,6) < сульфатно-магниевые (1,2). Таким образом, концентрация кадмия минимальна в водах гидрокарбонатного типа, максимальна в сульфатно-магниевых водах.

СОДЕРЖАНИЕ КАДМИЯ В ПИТЬЕВЫХ ВОДАХ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

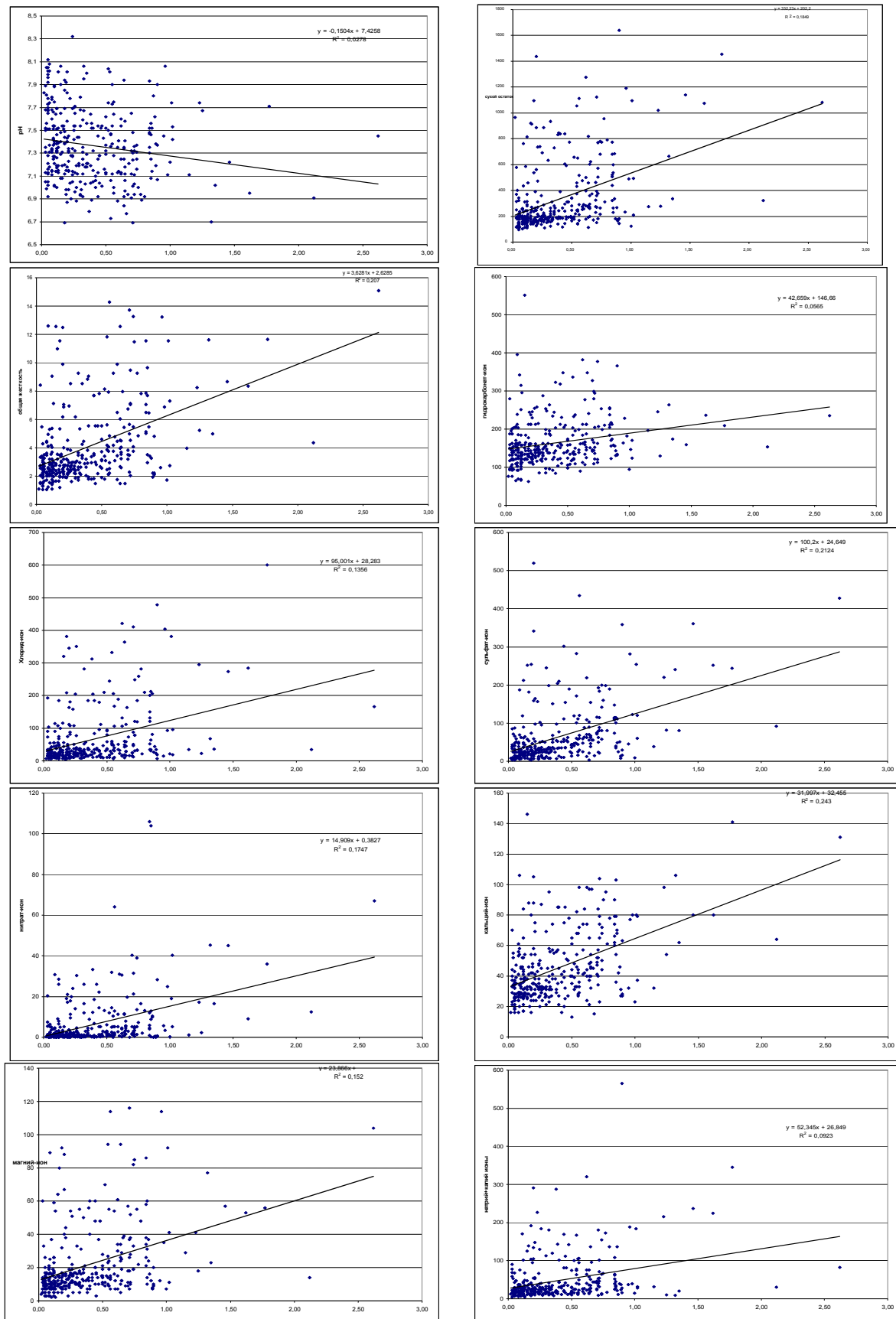


Рисунок 2 – Регрессионная зависимость содержания кадмия от физико-химических параметров воды

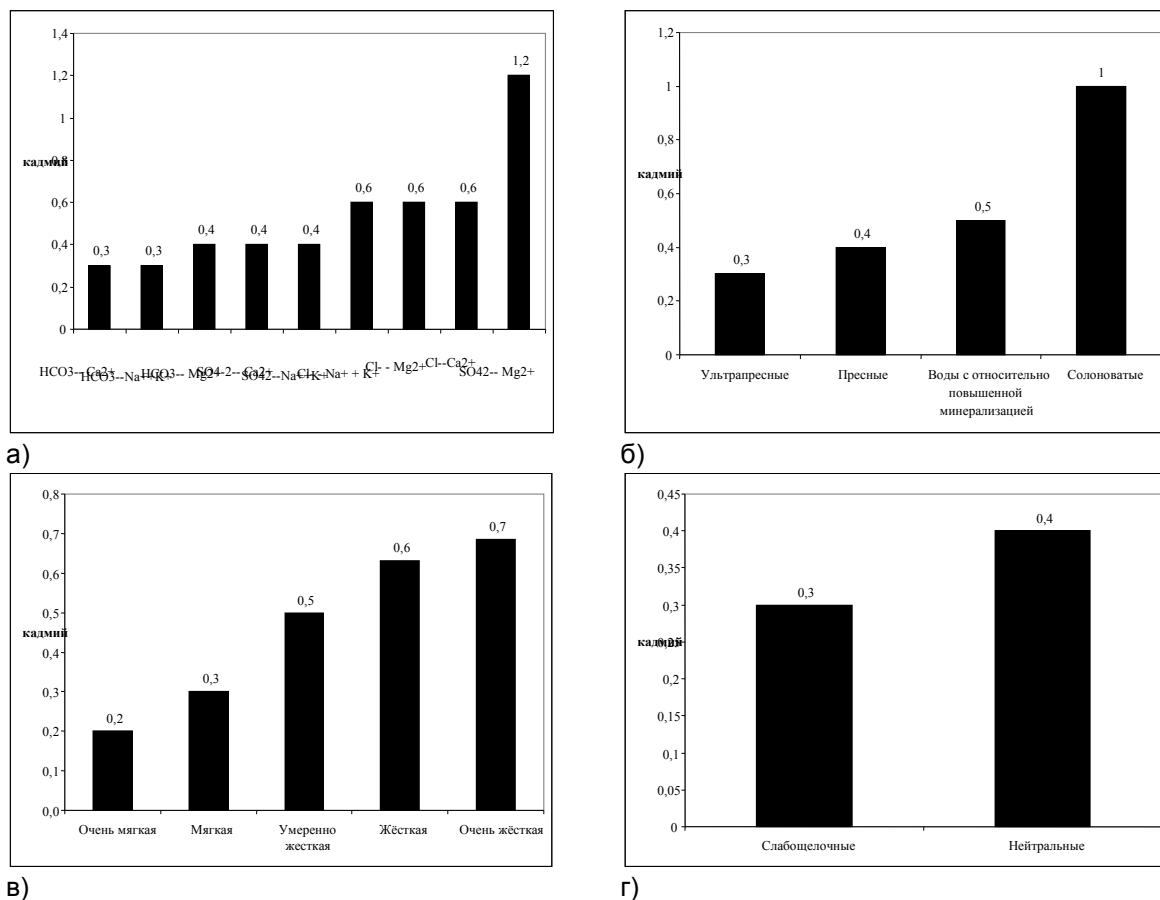


Рисунок 3 – Зависимость содержания кадмия от а) химического типа воды, б) величины сухого остатка, в) общей жёсткости, г) значения pH

Максимальные концентрации кадмия характерны для солоноватых (1 мкг/дм³), очень жестких (0,7 мкг/дм³) вод, минимальные – для ультрапресных (0,3 мкг/дм³), очень мягких (0,2 мкг/дм³) вод (рисунок 3 б, в), что говорит о тенденции кадмия к увеличению в сторону более минерализованных, жестких вод.

Установлена природная геоморфологическая зональность распределения кадмия в питьевых водах исследуемого региона (таблица 5).

Таблица 5 – Среднее содержание кадмия в питьевых водах Восточно-Казахстанской области, мкг/ дм³

Регионы	Cd
Прииртышская равнина	0,28
Калбинский хребет	0,31
Балхаш-Алакольская впадина	0,35
Зайсанская впадина	0,46
Кокпектино-Чарский мелкосопочник	0,57
горы Чингизтау	0,73

Западный (Рудный) Алтай	0,74
Саур-Тарбагатай	0,75

Наибольшее содержание кадмия характерно для питьевых вод Саур-Тарбагатай (0,75), Западного (Рудного) Алтая (0,74), гор Чингизтау (0,73); низкие концентрации характерны для питьевых вод Прииртышской равнины (0,28), Калбинского хребта (0,31), Балхаш-Алакольской впадины (0,35). Нельзя не отметить, что концентрация кадмия в питьевых водах Саур-Тарбагатай, Западного Алтая и гор Чингизтау в 2,6 раза выше, чем в водах Прииртышской равнины.

По полученным данным был рассчитан коэффициент опасности (K₀), который отражает отношение средней концентрации элемента в исследуемых водах к ПДК данного элемента в питьевой воде. K₀ кадмия варьирует от 0,02 до 2,62, в среднем составляя 0,38. Рассчитан коэффициент водной миграции кадмия, который согласно А.И. Перельману характеризует условную скорость выно-

СОДЕРЖАНИЕ КАДМИЯ В ПИТЬЕВЫХ ВОДАХ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

са химических элементов относительно их кларковых содержаний в горных породах. Относительно кларка Виноградова коэффициент водной миграции составил 8,9, т.е. элемент характеризуется сильной миграцией. Также был рассчитан кларк концентрации (K_k) – отношение среднего содержания химического элемента в исследуемых водах к кларку. В конкретном случае кларком считали со-

держание элемента в водах зоны гипергенеза [8]. Среднее значение K_k кадмия составило 1,58, при минимальном его значении – 0,08, максимальном – 10,92.

Сравнительная оценка химического состава питьевых вод исследуемого региона с нормативами качества воды и гидрогеохимическими эталонами представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Сравнительная оценка химического состава питьевых вод Восточно-Казахстанской области с нормативами качества воды и гидрогеохимическими эталонами

Компонент	Наши данные	Санитарные правила РК [9]	ВОЗ, 2011	Воды зоны гипергенеза [8]	Воды провинции континентального засоления [8]
pH	7,37	<u>6,0–9,0</u> ***	<u>6,5–8,5</u> ***	<u>6,9</u> 96,1	<u>7,5</u> 32,7
Сухой остаток	329,77	<u>1000</u> 4,2	<u>1000</u> 4,2	<u>469</u> 19,5	<u>1360</u> 0,9
Общая жёсткость	4,02	<u>7,0</u> 4,8	-	-	-
HCO ₃ ⁻	163,04	-	-	<u>187</u> 24,9	<u>349</u> 1,5
Cl ⁻	64,76	<u>350</u> 2,7	<u>250</u> 5,7	<u>59,7</u> 25,8	<u>258</u> 5,7
SO ₄ ²⁻	63,13	<u>500</u> 0,3	<u>250</u> 3,9	<u>76,7</u> 23,1	<u>304</u> 1,8
NO ₃ ⁻	6,11	<u>45</u> 1,8	<u>50</u> 1,2	<u>2,40</u> 40,2	<u>5,78</u> 22,2
Ca ²⁺	44,74	-	-	<u>39,2</u> 46,5	<u>86,4</u> 0,6
Mg ²⁺	21,63	-	-	<u>18,2</u> 32,7	<u>46,2</u> 12,6
Na ⁺ +K ⁺	46,95	-	1) 200	<u>67,6; 5,15</u> 16,8	<u>1)260; 2)18,4</u> 1,5
Cd	0,38	<u>1,0</u> 4,2	<u>3</u> ***	<u>0,24</u> 53,8	<u>0,42</u> 36,6

*Примечание: в числителе - концентрация компонента, в знаменателе - доля проб превышающих норматив (эталон), в %; * – сумма ионов; прочерк-- отсутствие данных, *** - отсутствие превышения.*

Из таблицы 6 видно, что среднее содержание компонентов макросостава не превышают норматив по Санитарным правилам РК и нормативы ВОЗ. Однако, оценивая химический состав исследуемых вод по отдельным пробам, были обнаружены превышения концентраций изучаемых компонентов по сравнению с вышеуказанными нормативами. Сравнивая содержание главных ионов исследуемых вод с нормативами по Санитарным правилам РК установлено, что концентрация хлорид-ионов выше данного показателя в 2,7 %, сульфат-ионов – в 0,3 %, нитрат-ионов – в 1,8 % исследуемых проб питьевой воды.

Сравнение с рекомендациями ВОЗ для питьевой воды, полезной для людей показало превышение концентрации хлорид-ионов в - 5,7%, сульфат-ионов в - 3,9%, нитрат-ионов в - 1,2% от общего количества исследуемых проб питьевой воды Восточного Казахстана. Величина сухого остатка превышает таковую по Санитарным правилам РК и норму ВОЗ в 4,2% исследуемых проб питьевой воды.

По сравнению с кларковыми значениями в водах зоны гипергенеза в 46,5% исследуемых проб питьевой воды превышено содержание ионов кальция, в 40,2% – нитрат-ионов, в 32,7% - ионов магния, 25,8% – ионов хлора, в 24,9% – гидрокарбонат-ионов, в 23,1% – сульфат-ионов, в 19,5% – значение

сухого остатка и в 16,8% – суммы ионов натрия и калия.

Сравнение полученных результатов со средним макрокомпонентным составом подземных вод провинции континентального засоления показало, что концентрация гидрокарбонат-ионов завышена в 1,5%, хлорид-ионов в 5,7 %, сульфат-ионов в 1,8 %, нитрат-ионов в 22,2 %, кальций-ионов в 0,6 %, магний-ионов в 12,6 % от общего количества исследованных проб питьевой воды.

Сравнив среднюю концентрацию кадмия в питьевых водах с нормативами качества воды и гидрогеохимическими эталонами (таблица 5) установили, что содержание кадмия в 4,2 % исследуемых проб превышает его предельно-допустимую концентрацию согласно Санитарным правилам РК. Средняя концентрация кадмия питьевых вод исследуемого региона не превышает его содержание в водах провинции континентального засоления, однако в 36,6% исследуемых проб питьевой воды рассматриваемое превышение имеет место. В 53,8 % исследуемых проб питьевой воды концентрация кадмия выше, чем в водах зоны гипергенеза, при максимальном его превышении в 10,9 раз. Превышение содержания кадмия в сравнении с рекомендациями ВОЗ в разрезе изученных проб питьевой воды не наблюдается.

Говоря об особенностях накопления кадмия в питьевых водах исследуемого региона нельзя не отметить, что для более подробного изучения поведения данного элемента в питьевых водах необходим постоянный, непрерывный мониторинг её качества, более жесткий, чем существующий. Подобный мониторинг питьевых вод проводится в городе Семей Восточно-Казахстанской области, являющийся многопрофильным промышленным центром с населением 329 тыс. человек.

В таблице 7 представлены данные мониторинга по содержанию кадмия в питьевых водах города Семей, проводимого с ноября 2002 года. Пробы исследуемой воды ежегодно отбирались с одних и тех же точек, в одни и те же сроки.

Обращаясь к годовой динамике содержания кадмия в питьевых водах города Семей, нужно отметить, что изменения средней концентрации по годам не имеет четкой зависимости, так как зависит от многих факторов. Из таблицы 6 видно, что концентрация кадмия в исследуемых водах в 2003 году была в 1,2 – 2 раза выше, по сравнению с другими годами. Наименьшее содержание кадмия установлено в 2002, 2004 годах.

Таблица 7 – Динамика содержания кадмия в питьевых водах города Семей за 2002-2008 годы, мкг/дм³

Период	Среднее содержание кадмия
2002 г.	0,20
2003 г.	0,41
2004 г.	0,19
2005 г.	0,30
2006 г.	0,34
2007 г.	0,23
2008 г.	0,24
2009 г.	0,25

Так как население города Семей в качестве источников питьевого водоснабжения использует воду «из крана», воду «с колонок», воду «с колодца» и воду «из родника» нами ведется контроль за содержанием кадмия в данных видах вод. Для оценки степени загрязнения питьевых вод в водоразводящей системе, исследованию подлежат пробы воды крупнейших водозаборов города (о.Свобода, о.Большой, о.Смычка).

Установлено, что содержание кадмия (по данным мониторинга 2007 г.) в питьевых водах исследуемых источников заметно различается (рисунок 4).

По величине средней концентрации кадмия исследуемые источники питьевой воды располагаются в следующем возрастающем порядке (рисунок 4): вода водозаборов (0,03 мкг/дм³) < вода «из родника» (0,09) < вода «с колонок» (0,18) < вода «из крана» (0,30) < вода «с колодца» (0,39).

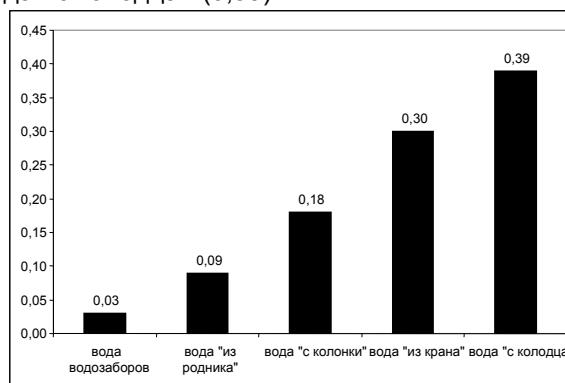


Рисунок 4 – Распределение средней концентрации кадмия по типу водоемкости, мкг/дм³

Из рисунка 4 видно, что содержание кадмия в колодезной воде на 1,3 и более порядков выше по сравнению с другими водоемкостями, это можно объяснить тем, что вода в колодце находится в постоянном соприкосновении с водовмещающими породами, богатыми органическим веществом, кото-

рое, в свою очередь, удерживает кадмий в жидкой фазе.

Концентрация кадмия в воде «из родника» ($0,09 \text{ мкг/дм}^3$) невелика, так как родники обладают природными фильтрующими свойствами, в результате чего вода проходит естественную природную очистку, что ведет к уменьшению концентрации кадмия в данном водоисточнике.

Концентрация кадмия в воде «из крана» и в воде «с колонок» выше по сравнению с водой водозаборов ($0,03 \text{ мкг/дм}^3$), так как вода, поступая к потребителю, проходит огромный путь (более 350 км) через централизованные системы питьевого водоснабжения, которые в свою очередь находятся в аварийном состоянии, что ведёт к вторичному загрязнению питьевых вод.

Выводы

1. 67% исследуемых проб питьевой воды имеют нейтральную, 33% – слабощелочную реакцию. 45,4% исследованных проб относятся к ультрапресным, 36,3% – к пресным, 4,2% – к солоноватым и 14,1% – к водам с относительно повышенной минерализацией. 46,9% исследованных проб питьевой воды относятся к мягким, 4,5% – к очень мягким, 31,2% – к умеренно жёстким, 9,6% – к жёстким, 7,8% – к очень жёстким водам.

2. Ведущими типом питьевых вод региона являются гидрокарбонатно-кальциевые воды, на долю которых приходится 65,5% обследованных проб. Доля встречаемости остальных типов вод колеблется от 0,6 до 11,7%.

3. Содержание кадмия в исследуемых водах колеблется от 0,02 до $2,62 \text{ мкг/дм}^3$, в среднем составляя $0,38 \text{ мкг/дм}^3$, при коэффициенте вариации 90,29%. Распределение кадмия в исследуемых водах не подчиняется закону нормального распределения. Модальным классом распределения кадмия является класс $< 0,32 \text{ мкг/дм}^3$.

4. На концентрацию кадмия в питьевых водах оказывают влияние химический тип воды, величины общей жесткости и сухого остатка.

5. Установлена природная геоморфологическая зональность распределения кадмия в питьевых водах исследуемого региона.

6. Проведен мониторинг кадмия в питьевых водах города Семей с 2002 по 2009 год.

Наибольшая его концентрация зафиксирована в 2003 г.

7. Изучено содержание кадмия в питьевых водах города Семей по типам водоисточников (2007 г.). По среднему содержанию кадмия они образуют следующий возрастающий ряд: вода водозаборов < вода «из родника» < вода «с колонок» < вода «из крана» < вода «с колодца».

8. Содержание кадмия в питьевых водах Восточно-Казахстанской области в 4,2% проб превысило норматив по Санитарным правилам РК, в 53,8% – кларк вод зоны гипергенеза, в 36,6% – содержание в подземных водах провинции континентального засоления Среднее значение коэффициента опасности кадмия (K_0) составило 0,38, кларка концентрации (K_k) – 1,58, коэффициента водной миграции – 8,86.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжёлые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.
2. Методические рекомендации по отбору, отработке и хранению проб подземных вод. ВСЕГИНГЕО, М., 1990. – 78 с.
3. Унифицированные методы анализа вод. /Под ред. Ю.Ю. Лурье. М.: Химия, 1971. – 375 с.
4. Плохинский Н.А. Биометрия. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. – 367 с.
5. Овчинников А.М. Гидрогеохимия. – М.: Недра, 1970. – 201 с.
6. Алёкин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970.
7. Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю. Методы анализа природных вод. М.: Недра, 1970.
8. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – М.: Недра, 1998. – 366 с.
9. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к водоисточникам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов». – Астана, 2012.

Каримова А.В. – аспирант, инженер лаборатории радиохимических исследований филиал Институт радиационной безопасности и экологии Национальный ядерный центр Республики Казахстан; тел. 8 (778 9) 292 981. E-mail: karimova_av@mail.ru.