ОЦЕНКА НЕКАНЦЕРОГЕННОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ СОДЕРЖАНИЯХ Fe И As В ПИТЬЕВЫХ ВОДАХ (НА ПРИМЕРЕ ГРУНТОВЫХ ВОД РАЙОНА ОЗ. ПОЯНХУ, КИТАЙ)

Солдатова Е.А.¹, Дребот В.В.¹, Майер С.Э.¹, Сунь Чж.²

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия, E-mail: soldatovaea@tpu.ru

²Восточно-Китайский технологический университет, Наньчан, Китай, E-mail: zhxsun@ecit.edu.cn

АННОТАЦИЯ: В работе рассмотрены вопросы оценки возможности развития негативных эффектов у населения от потребления вод с повышенными концентрациями Fe и As на примере грунтовых вод района оз. Поянху (Китай). Рассмотрены особенности миграции и возможные причины накопления упомянутых элементов в грунтовых водах. В пределах района исследований выделены территории, подверженные наибольшей опасности развития негативных неканцерогенных эффектов у населения.

1. ВВЕДЕНИЕ

Проблема качества питьевых вод остро стоит во многих странах мира, и Китайская Народная Республика (КНР) не является исключением. Согласно наблюдениям, проведенным в 2000–2002 гг. Министерством Водных Ресурсов КНР, около 40% ресурсов подземных вод загрязнены и не пригодны для целей питьевого водопользования. Согласно данным Zhang et al. [7] 75 % сельского населения КНР использует подземные воды в питьевых целях, половина из них пользуются нецентрализованными источниками водоснабжения, и только 5% при этом применяет системы водоподготовки. Особенно остро стоит проблема загрязнения грунтовых вод, поскольку их использование не контролируется из-за отсутствия общенациональной системы мониторинга ресурсов подземных вод в сельской местности. Район оз. Поянху является примером подобной ситуации. Основными загрязнителями грунтовых вод здесь являются продукты сельскохозяйственной деятельности – соединения азота, однако наблюдаются превышения допустимых концентраций и по другим компонентам, например, Fe и As, которые способны провоцировать развитие негативных неканцерогенных эффектов. Следует отметить, что мышьяк воздействует на организм человека не только по неканцерогенному механизму, но и является канцерогеном [2], однако вопрос развития канцерогенных эффектов в данной статье не рассматривался.

Одним из методов оценки качества воды и рисков для здоровья населения, связанных с ее потреблением, является методика оценки рисков, разработанная Американским агентством по охране окружающей среды, которая используется в данной работе для оценки рисков развития неканцерогенных эффектов у населения

района оз. Поянху в связи с потреблением грунтовых вод с повышенными концентрациями Fe и As.

2. ОБЪЕКТЫ

Район исследований расположен в провинции Цзянси, юго-восточный Китай. Он занимает северную часть бассейна оз. Поянху и является не только уникальной водно-болотной экосистемой, но и важным сельскохозяйственным районом. Население ведет сельскохозяйственную деятельность на данной территории уже в течение нескольких тысячелетий. Сельхозугодья являются одним из наиболее распространенных видов земель вокруг оз. Поянху. Также следует упомянуть, что район исследований характеризуется достаточно высокой плотностью населения, среди которого превалирует сельское.

Объектом исследования являются неглубоко залегающие (2–20 м) грунтовые воды, которые в сельской местности используются населением в питьевых и хозяйственно-бытовых целях. Грунтовые воды характеризуются низкими значениями минерализации (17–768 мг/л). Значения pH вод варьируют от 4,5 до 7,7, со средним значением 6,2, преобладают слабокислые и нейтральные воды. В природных условиях грунтовые воды являются $\text{HCO}_3\text{--Ca}$ и $\text{HCO}_3\text{--Ca--Na}$. Однако в некоторых случаях химический тип изменяется вплоть до $\text{SO}_4\text{--HCO}_3\text{--Ca}$, $\text{HCO}_3\text{--Ca--K}$, Cl--Na--Ca и даже $\text{Cl--NO}_3\text{--Na}$. Подобные вариации химического состава указывают на влияние антропогенных факторов на формирование состава грунтовых вод. Окислительно-восстановительные потенциал варьирует значительно от –91 до 382 мВ, однако преобладает окислительная обстановка с $E_h > 100$ мВ. Грунтовые воды, характеризующиеся восста-

новительной обстановкой и окислительной обстановкой с $Eh < 100$ мВ залегают преимущественно к западу от оз. Поянху в районе нижнего течения рр. Ганьцзян и Сюшуй.

3. МЕТОДЫ

В течение трех полевых сезонов (2013–2015 гг.) было отобрано 67 проб грунтовых вод из частных и общественных колодцев и скважин, являющихся источниками питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения для местного населения. Быстроменяющиеся параметры (рН, Eh , температура) измерялись *in situ*. Анализ химического состава производился в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Томского политехнического университета.

Риск развития неканцерогенных эффектов у мужского и женского населения в результате хронического потребления грунтовых вод оценивался на основе значений коэффициента опасности (HQ) по методике, разработанной Американским агентством по охране окружающей среды (US EPA):

$$HQ = CDI / RfD \quad (1)$$

где CDI – доза хронического ежедневного поступления потенциально опасного компонента в организм человека, мг/кг*сут; RfD – референтная доза (максимальное безопасное значение концентрации потенциально опасного компонента), мг/кг*сут. Референтная доза выбиралась согласно методике US EPA [6].

Среднее хроническое ежедневное поступление оценивалось по следующей формуле:

$$CDI = (C * WI * EF * ED) / (BW * AT) \quad (2)$$

где C – концентрация химического элемента в воде, мг/л; WI – суточное потребление воды, л/сут, принято равным 2 л/сут согласно статистическим данным [5]; EF – частота воздействия, сут/год, принято равным 350 сут/год согласно рекомендациям US EPA [5]; ED – продолжительность воздействия, лет, US EPA [5] рекомендует принимать данное значение равным 30 годам для взрослого населения, принимая во внимание миграцию населения; BW – масса тела, кг, согласно статистическим данным принята равной 66,2 и 57,3 кг для мужчин и женщин, соответственно; AT – величина, характеризующая осреднение по времени, дней, рассчитывается как $ED * 365$ дней.

Для оценки суммарного (кумулятивного) риска развития неканцерогенных эффектов от

одновременного воздействия нескольких потенциально опасных компонентов на организм человека использован индекс опасности (HI):

$$HI = \sum HQ_i, \quad (3)$$

где $\sum HQ_i$ – сумма коэффициентов опасности отдельных компонентов, объединенных в группы согласно механизму их воздействия на организм человека.

Если значение HQ и/или HI менее 1, риск развития неканцерогенных эффектов у населения в результате воздействия потенциально опасного компонента и/или группы компонентов маловероятен. Развитие неканцерогенных эффектов у населения вероятно при значении HQ (HI) равном 1 и более, при этом риск растет пропорционально значению HQ (HI).

4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Содержания Fe в исследуемых грунтовых водах варьируют от 0,01 до 64,4 мг/л (табл. 1). Превышение концентраций Fe относительно стандарта КНР для питьевых вод [3] наблюдается в 13 точках опробования из 67. Повышенные относительно фоновых концентрации Fe распределены по всей территории района исследований, однако наиболее высоких значений они достигают в районе распространения грунтовых вод с восстановительной обстановкой, т.е. в нижнем течении рр. Ганьцзян и Сюшуй, поскольку именно восстановительная обстановка способствует накоплению Fe в растворенной форме, в то время как в окислительной обстановке Fe склонно осаждаться в форме оксидов и гидроксидов.

Концентрации As в исследуемых грунтовых водах изменяются от 0,00002 до 0,079 мг/л (табл. 1).

Таблица 1. Концентрация Fe и As в грунтовых водах района оз. Поянху

Элемент	Концентрация, мг/л		
	Min	Max	Фоновая
Fe	0.01	64.40	0.07
As	0.00002	0.07912	0.00063

Превышение концентраций As относительно стандарта КНР для питьевых вод [3] характерно для 7 точек опробования из 67. Повышенные относительно фоновых концентрации As также приурочены к грунтовым водам, залегающим в районе нижнего течения рр. Ганьцзян и Сюшуй, и коррелируют с высокими концентрациями Fe (рис. 1), что подтверждается статистически зна-

чимой величиной коэффициента ранговой корреляции Спирмена ($r_s = 0.68$ при $p < 0.05$). Это свидетельствует о взаимосвязи механизмов, контролирующих обогащение и накопление Fe и As в грунтовых водах изучаемой территории.

Рис. 1. Концентрации Fe и As в грунтовых водах в районе нижнего течения рр. Ганьцзян и Сюшуй.

Таким образом, повышенные концентрации As накапливаются в условиях с $Eh < 100$ мВ, а значит можно предположить, что As мигрирует в грунтовых водах в трехвалентной форме, скорее, чем в форме As^{5+} [1, 2]. Причиной накопления As в восстановительной обстановке, вероятно, является высвобождение сорбированного As при растворении оксидов Fe, как показано в работе Gräfe and Sparks [4]. Таким образом, мобилизация As будет сопровождаться накоплением Fe в двухвалентной форме. Следует отметить, что в восстановительных условиях с $Eh < 0$ преобладающей формой мышьяка будет As^{3-} [1], которая характеризуется повышенной биологической доступностью [2].

Высокий риск развития неканцерогенных эффектов (табл. 2) от воздействия мышьяка, наблюдается в 7 точках опробования из 67,

как для мужчин, так и для женщин, и приурочен нижнему течению рр. Ганьцзян и Сюшуй.

Таблица 2. Значения коэффициента опасности (HQ) при потреблении грунтовых вод района оз. Поянху

Элемент	HQ			
	Мужчины		Женщины	
	min	max	min	max
Fe	0,00085	6,22	0,00098	7,18
As	0,0016	7,64	0,0019	8,83

Значения коэффициента опасности для Fe (табл. 2), превышающие единицу, наблюдается в лишь 5 точках опробования из 67. Следует отметить, что высокий риск развития негативных эффектов в результате воздействия Fe, содержащегося в питьевых водах, наблюдается в районе нижнего течения рр. Ганьцзян и Сюшуй и практически совпадает с территорией распространения повышенных неканцерогенных рисков от воздействия As.

Поскольку Fe и As имеют сходный механизм воздействия на организм человека, вызывая заболевания кожных покровов и оказывая негативное воздействие на иммунную систему [6], целесообразно рассчитать суммарный риск развития неканцерогенных эффектов у населения от их совокупного поступления в организм человека с питьевыми водами. Значения индекса опасности (HI) при этом изменяются от 0,005 до 10,1 и от 0,006 до 11,7, для мужчин и женщин, соответственно. Распределение неканцерогенных рисков от суммарного воздействия Fe и As, содержащихся в питьевых водах, показано на рис. 2.

Рис. 2. Распределение неканцерогенных рисков от суммарного воздействия Fe и As, содержащихся в грунтовых водах района оз. Поянху: а) для женщин; б) для мужчин.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Накопление повышенных концентраций Fe и As в грунтовых водах района исследований связано с формированием восстановительной обстановки в водоносном горизонте в районе нижнего течения рр. Ганьцзян и Сюшуй. Здесь наблюдаются превышения ПДК для питьевых вод и повышенный риск развития неканцерогенных эффектов у населения. Количественная оценка риска с использованием коэффициента опасности позволила выделить в пределах района исследований поля распределения потенциальных рисков. Кроме того, неоспоримым преимуществом использованной методики оценки неканцерогенных рисков US EPA является возможность расчета суммарных рисков при повышенных концентрациях нескольких потенциально опасных компонентов, характеризующихся сходным механизмом воздействия на организм человека.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ), проект № 17-77-10017.

NON-CARCINOGENIC HEALTH RISK ASSESSMENT OF FE AND AS IN DRINKING WATER: A CASE STUDY OF SHALLOW GROUNDWATER IN THE POYANG LAKE AREA, CHINA

Soldatova E.A.¹, Drebot V.V.¹, Maier S.E.¹, Sun Zh.²

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, E-mail: soldatovaea@tpu.ru

²East-China University of Technology, Nanchang, China, E-mail: zhxsun@ecit.edu.cn

ABSTRACT: The paper considers the issues of assessing the possibility of development of negative effects for human health due to the consumption of water with high concentrations of Fe and As on the example of shallow groundwater of the Poyang Lake area, China. Features of migration and possible causes of accumulation of the above mentioned elements in the shallow groundwater are considered. Areas that are most at risk of developing negative non-carcinogenic effects for human health are allocated within the Poyang Lake area.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Путилина В.С. Поведение мышьяка в почвах, горных породах и подземных водах. Трансформация, адсорбция / десорбция, миграция: анализ. обзор / В.С. Путилина, И.В. Галицкая, Т.И. Юганова. – Новосибирск : ГПИТБ СО РАН, 2011. – 249 с.
2. ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for Arsenic. – Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2007.
3. GB 5749-2006. Standards for drinking water quality. National standard of the People's Republic of China, 2006. [in Chinese].
4. Gräfe, M., Sparks, D. L. Solid phase speciation of arsenic. In R. Naidu et al (Eds): Managing arsenic in the environment. From soils to human health. – Collingwood, Australia: CSIRO Pub., 2006. – P. 75-92.
5. US EPA. United States Environmental Protection Agency. Region 4 Human Health Risk Assessment Supplemental Guidance. – Washington, 2014.
6. US EPA. United States Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System (IRIS), 2015.
7. Zhang, R., Li, H. X., Wu, X. F., Fan, F. C., Sun, B. Y., Wang, Z. S., Zhang, Q., Tao, Y. Current situation analysis on China rural drinking water quality // Journal of Environment and Health. – V. 26. – 2009. – P. 3-5. [in Chinese].