

Геохимические характеристики содержания свинца на территории Оренбургской области и оценка его влияния на микробиоту кишечника животных*

Я.А. Сизенцов, соискатель, В.И. Сальникова, соискатель, ФГБОУ ВО Оренбургский ГУ; Е.Ю. Исайкина, к.б.н., ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ; Е.В. Сальникова, к.х.н., А.Н. Сизенцов, к.б.н., ФГБОУ ВО Оренбургский ГУ

Уровень антропогенного воздействия на окружающую среду неуклонно возрастает с каждым годом. Это связано не только с воздействием на экосистему перерабатывающих предприятий и развитием предприятий агропромышленного комплекса, но и с аккумуляцией ксенобиотических компонентов, таких, как свинец, кадмий, ртуть, и т.п., с последующей миграцией данных элементов в системе «вода – почва – растения – животное – человек» [1].

Большинство токсичных тяжёлых металлов относятся к микроэлементам, которые интенсивно аккумулируются из почвы и воды растениями с последующим поступлением в организм человека и животных [2, 3]. Следует отметить, что для оптимального функционирования организма одним из основных критериев является стабильность

элементного состава [4, 5]. Любые отклонения микронутриентов в организме от референтных значений элементного статуса, возникающие в следствии экологических и/или климатогеографических факторов, могут приводить к широкому спектру нарушений: снижению естественной резистентности, функциональным изменениям физиологических систем, развитию патологических процессов [6].

Избыточное содержание свинца в окружающей среде может быть связано как с естественными процессами – распад радона, лесные пожары, эрозия почв, так и с антропогенными факторами – отходами от добычи руды, сжигания этилированного бензина [7]. При этом свинец активно аккумулируется в поверхностном горизонте большинства почв по средству его связывания с органическими веществами [8].

Как и всем живым организмам, микроорганизмам в качестве компонентов питания необходимы эссенциальные микроэлементы, такие, как марганец, железо, медь, кобальт, цинк. Локализация

* Работа выполнена при поддержке областного гранта № 14; соглашение от 31.07.2018 г.

данных элементов осуществляется двумя вариантами: связыванием с клеточной поверхностью (например медь) и проникновением внутрь клетки (например железо).

Оценивая закономерности взаимодействия тяжёлых металлов с микроорганизмами следует учитывать токсическое воздействие ионов тяжёлых металлов на микроорганизмы, которое может проявляться в виде субингибирующего и бактерицидного действия.

Согласно литературным данным, выделяют несколько механизмов токсического действия тяжёлых металлов на микроорганизмы: 1 – ионы тяжёлых металлов могут выполнять роль антиметаболитов, в результате чего происходит ингибирование определённых биохимических процессов, сопровождающееся бактериостатическим и бактерицидным эффектом воздействием на клетку; 2 – ионы тяжёлых металлов способствуют образованию хелатов с первичными метаболитами или катализируют распад таких метаболитов, в следствии чего последние становятся недоступными для клетки; 3 – ионы тяжёлых металлов способны замещать структурно или электрохимически важные элементы, что в конечном итоге приводит к нарушению ферментативной или клеточной функции [9].

Биоаккумуляция эссенциальных металлов клетками микроорганизмов носит двухфазный характер. Первая фаза обусловлена сорбцией металлов компонентами клеточной стенки, среди которых особенно активны сорбенты хитин и хитозан, и не зависит от энергетического состояния клетки. Вторая фаза обусловлена энергозависимым внутриклеточным накоплением, происходящим с участием ферментов – переносчиков ионов [10].

Аккумуляция ионов токсичных тяжёлых металлов микроорганизмами является защитным механизмом (детоксикация), осуществляющимся путём специфического связывания металла с особыми полимерами, синтез которых обусловлен субстратиндукторами (тяжёлыми металлами). Микроорганизмы переводят металлы из ионной формы в металлическую, образуя комплексы с органическими и неорганическими соединениями в результате окислительно-восстановительных процессов. При этом металл, отложенный в клеточной стенке в кристаллическом виде или в виде плохо растворимых соединений, оказывается безвредным для бактерий.

Исходя из вышеизложенного перед нами была поставлена **цель** – изучить эколого-геохимическое распространение свинца на территории Оренбургской области и оценить его воздействие на микробиоту кишечника животных.

Материал и методы исследования. Для реализации поставленной цели были определены следующие задачи: изучить геохимическое распространение свинца на территории Оренбургской

области; оценить воздействие свинца на представителей факультативно-анаэробной микробиоты кишечника крыс.

Для исследования содержания свинца в воде на территории 35 административных районов Оренбургской области (n=525) производили отбор и подготовку проб подземных вод из скважин и колодцев с глубины не менее 10 м в пластиковые пробирки, обработанные горячей азотной кислотой, с последующим добавлением хлористого натрия до концентрации 3% (ГОСТ Р 51593-2000 Вода питьевая. Отбор проб). Отобранные пробы консервировали и хранили согласно установленным требованиям ГОСТа Р 51592. Содержание свинца в пробах сравнивали с предельно допустимыми концентрациями (ПДК), утверждёнными СанПиН 2.1.4.1074-01 (Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества).

Отбор почвенных образцов осуществляли согласно методическим указаниям по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения (2003). Полученные данные сопоставляли с ПДК, соответствующими ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве».

Для оценки воздействия катионов свинца на представителей факультативно-анаэробной микробиоты кишечника крыс были использованы выделенные из состава нормофлоры кишечника следующие представители: *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Enterococcus faecium*, *Lactobacillus acidophilus*. В качестве ксенобиотического фактора использовался нитрат свинца.

В основу проведения эксперимента были положены метод выделения и идентификации микроорганизмов, метод агаровых лунок, колориметрический и атомно-адсорбционный методы исследования.

Результаты исследования. В ходе выполнения экспериментальной части работы были получены следующие результаты. Так, на предварительном этапе изучили геохимическое распространение свинца в воде и почве на территории Оренбургской области (табл., рис. 1).

Анализ данных, представленных в таблице, свидетельствует о том, что концентрация свинца в воде во всех изученных районах не превышала значений ПДК и находилась примерно на одном уровне, в то время как уровень анализируемого элемента в почвенных образцах указывает на то, что в районах Западного Оренбуржья содержание данного ксенобиотического элемента превышает значение районов центральной и восточной зон в 1,3 раза (рис. 1).

Предварительным этапом оценки биотоксичности катионов свинца являлось определение минимальных подавляющих МПК нитрата свинца

Среднее содержание свинца в подземных водах и почве Оренбургской области, мг/кг

| Показатель | Свинец | | | | | |
|----------------|---------------------------|-------|-------------|-------|-----------|-------|
| | зона Оренбургской области | | | | | |
| | западная | | центральная | | восточная | |
| | вода | почва | вода | почва | вода | почва |
| Среднее (М) | 0,02 | 3,69 | 0,02 | 2,89 | 0,03 | 2,88 |
| Медиана (Me) | 0,02 | 2,62 | 0,02 | 2,18 | 0,02 | 2,8 |
| Минимум (Min) | 0,002 | 1,02 | 0,0014 | 1,01 | 0,012 | 1,22 |
| Максимум (Max) | 0,04 | 9,54 | 0,04 | 9,7 | 0,04 | 5,38 |

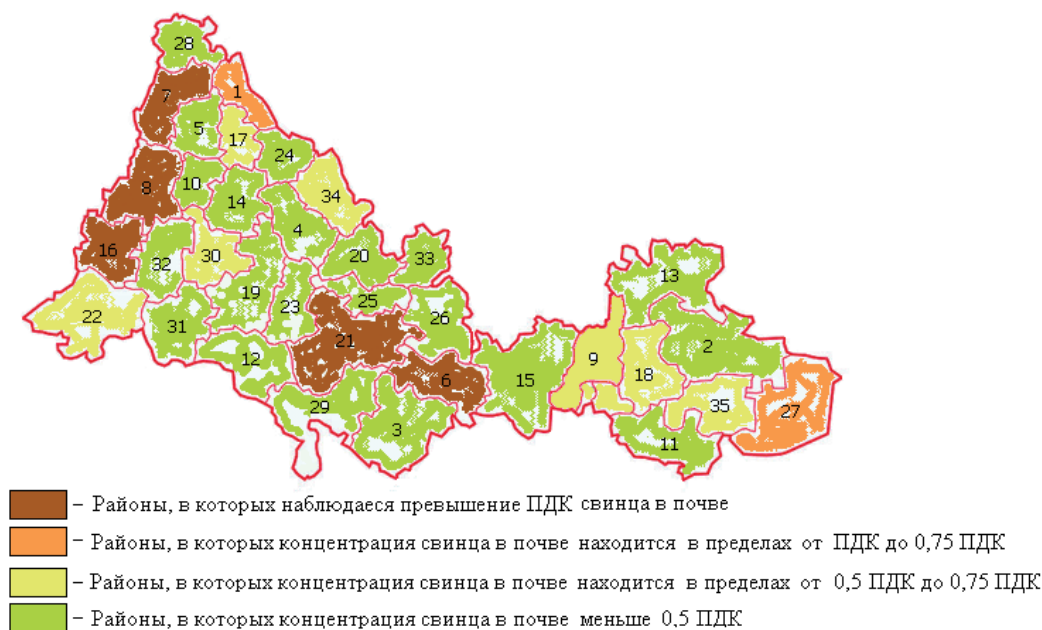


Рис. 1 – Картографирование Оренбургской области по содержанию свинца в почве:

Районы Оренбургской области: 1 – Абдулинский, 2 – Адамовский, 3 – Акбулакский, 4 – Александровский, 5 – Асекеевский, 6 – Беляевский, 7 – Бугурусланский, 8 – Бузулукский, 9 – Гайский, 10 – Грачёвский, 11 – Домбаровский, 12 – Илекский, 13 – Кваркенский, 14 – Красногвардейский, 15 – Кувандыкский, 16 – Курманаевский, 17 – Матвеевский, 18 – Новоорский, 19 – Новосергиевский, 20 – Октябрьский, 21 – Оренбургский, 22 – Первомайский, 23 – Переволоцкий, 24 – Пономарёвский, 25 – Сакмарский, 26 – Саракташский, 27 – Светлинский, 28 – Северный, 29 – Соль-Илецкий, 30 – Сорочинский, 31 – Ташлинский, 32 – Тоцкий, 33 – Тюльганский, 34 – Шарлыкский, 35 – Ясенский

методом серийных разведений. По полученным в ходе экспериментов данным установлено, что концентрация данного элемента 0,005 М/л оказывает выраженный бактерицидный эффект в отношении *E. cloacae*, *E. faecium* и *E. coli*, в то время как на *L. acidophilus* аналогичный эффект оказывала концентрация 0,0025 М/л. Это свидетельствует о том, что данный микроорганизм является наименее резистентным по отношению к свинцу.

Следующим этапом нашей работы являлась оценка влияния катионов свинца на исследуемые микроорганизмы. В ходе эксперимента было установлено, что присутствие нитрата свинца в составе питательной среды оказывает стимулирующее влияние на рост представителей нормофлоры кишечника. На наш взгляд, данное явление может быть обусловлено механизмом детоксикации с накоплением данного элемента на поверхностных структурах бактериальных клеток, и, как следствие, происходит увеличение показателя оптической плотности. Для более достоверной оценки данного

явления нами был проведён заключительный этап данного исследования, направленный на оценку аккумулирующих характеристик изучаемых микроорганизмов (рис. 2).

Анализ полученных данных показал, что все исследуемые микроорганизмы активно аккумулируют катионы свинца, что, по нашему мнению, подтверждает гипотезу детоксикационного механизма защиты. При этом значительно низкие концентрации аккумуляции данного химического элемента получены у *L. acidophilus*, что на наш взгляд, напрямую коррелирует с данными по оценке биотоксичности (определения МПК).

Выводы. Обобщая и интерпретируя полученные в ходе исследования данные, следует отметить, что максимальные значения накопления свинца в окружающей среде связаны с его отложением в виде различных соединений в почве. При этом максимальные концентрации данного элемента зарегистрированы в Западном Оренбуржье, что, видимо, можно объяснить только геохимически-

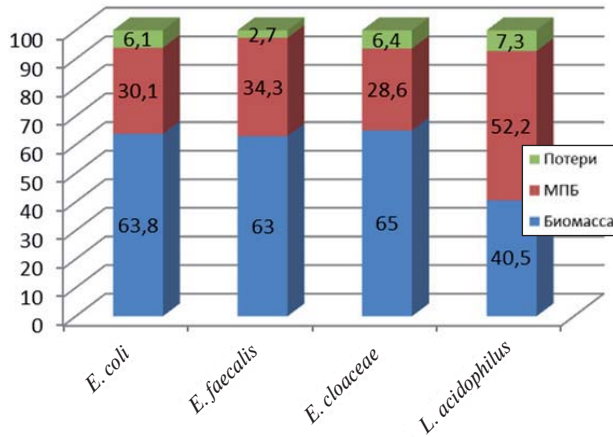


Рис. 2 – Распределение свинца в супернатанте и биомассе исследуемых микроорганизмов

ми особенностями, так как на этой территории отсутствуют антропогенные факторы, способствующие увеличению концентрации изучаемого ксенобиотика в почве. Анализ биотоксичности и биоаккумуляции катионов свинца выявил общие закономерности между данными показателями, при этом наиболее резистентным из всех исследуемых микроорганизмов является *L. acidophilus*, на долю которого в составе микробиоты приходится основной процент в общей биомассе.

Литература

1. Бокова Т.И. Экологические основы инновационного совершенствования пищевых продуктов: монография / Новосиб. госуд. аграр. ун-т, СибНИИ переработки с.-х. продукции. Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2011. 284 с.
2. Oberlis D. Biologicheskaya rol' makro- i mikroelementov u cheloveka i zhivotnih / D. Oberlis, V. Kharland, A. Skal'nii // Biological role of the macro- and microelements in human and animals. Saint Petersburg, Nauka Publ., 2008. 544 p.
3. Nifontova, O.L. Ekologo-fiziologicheskii portret korennoho naseleniya Hanti-mansiiskogo avtonomnogo okruga-Ugri / O.L. Nifontova, V.I. Korchin, S.V. Vlasova, T.Ya. Korchin, I.V. Korchina, N.N. Merkulova, V.A. Lobov // [Ekologo-fiziologicheskii portret of indigenous people of Khanty-Mansi autonomous okrug-Yugra]. Khanty-Mansiysk, 2012. 208 p.
4. Скальный А.В., Цыган В.Н. Патологическая физиология обмена макро- и микроэлементов // Патологическая физиология обмена веществ: учебное пособие / Под ред. В.Н. Цыгана. СПб.: СпецЛит, 2013. С. 262–333.
5. Campbell J.D. Lifestyle, minerals and health // Med. Hypotheses. 2001. Vol. 57. № 5. P. 521–531.
6. Агаджанян Н.А., Скальный А.В. Химические элементы в среде обитания и экологический портрет человека. М.: Изд-во КМК, 2001. 83 с.
7. Kachur A. N. Environmental conditions in the Rudnaya River watershed – a compilation of Soviet and post-Soviet era sampling around a lead smelter in the Russian Far East / A.N. Kachur, V.S. Arzhanova, P.V. Yelpatyevsky, M.C. von Braun, I.H. von Lindern // Science of the Total Environment. 2003. Vol. 30. № 1–2. P. 171–185.
8. Сусликов В.Л. Геохимическая экология болезней. В 4 т. Т. 2. Атомониты. М.; Гелиос АРВ, 2000. 672. 187 с.
9. Макаров А. У микроба ферроплазмы почвы все белки содержат железо [Электронный ресурс]. URL: <http://elementy.ru/news/430429>.
10. Paules I. T. A novel family of ubiquitous heavy metal ion transport protein / I.T. Paules, M. Saier // Journal of Membrane Biology. 2004. V. 156. № 5. P. 99–103.