

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»**

**НАУКА И МОЛОДЕЖЬ:
ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ**

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ВЫПУСК 27

*Труды Всероссийской научной конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
16 – 17 мая 2023 г.*

ЧАСТЬ I

Под общей редакцией профессора С.В. Коновалова

**Новокузнецк
2023**

ББК 74.48.288
Н 340

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, профессор Коновалов С.В.,
д-р физ.-мат. наук, профессор Громов В.Е.,
канд. техн. наук Шевченко Р.А.,
канд. техн. наук, доцент Темлянцева Е.Н.

Н 340

Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 16–17 мая 2023 г. Выпуск 27. Часть I. Естественные и технические науки / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет ; под общ. ред. С.В. Коновалова – Новокузнецк; Издательский центр СибГИУ, 2023. – 385 с. : ил.

ISSN 2500-3364

Представлены труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по результатам научно-исследовательских работ. Первая часть сборника посвящена актуальным вопросам в области естественных наук, металлургических процессов, технологий, материалов и оборудования, экологии, безопасности, рациональному использованию природных ресурсов.

Материалы сборника представляют интерес для научных и научно-технических работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

ISSN 2500-3364

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2023

высокоэнтропийных сплавов / А. С. Рогачев // Физика металлов и металловедение. – 2020. – Т. 121. – № 8. – Р. 807–841.

4. Gromov V. E. Structure and properties of high-entropy alloys / V. E. Gromov, S. V. Konovalov, Yu. F. Ivanov, K. A. Osintsev. – Springer. Advanced structured materials, 2021. V. 107. 110 p.

5. Miracle D. B. A critical review of high entropy alloys and related concepts / D. B. Miracle, O. N. Senkov // Acta Mater. – 2017. – V. 122. – P. 448–511.

6. Alaneme K. K. Processing, alloy composition and phase transition effect on the mechanical and corrosion properties of high entropy alloys: a review/ K. K. Alaneme, M. O. Bodunrin, S. R. Oke // J. Mater. Res. Technol. – 2016. – V. 5. – No. 4. – P. 384–393.

7. Liu K. Extremely high fatigue resistance in an ultrafine grained high entropy alloy/ K. Liu, S. S. Nene, M. Frank, S. Sinha, R. S. Mishra // Appl. Mater. Today. – 2019. – V. 15. – P. 525–530.

8. Ivanov Yu. F. Prospects for the application of surface treatment of alloys by electron beams in state-of-the-art technologies/ Yu. F. Ivanov, V. E. Gromov, D. V. Zagulyaev, S. V. Konovalov, Yu. A. Rubannikova, A.P. Semin // Progress in Physics of Metals. – 2020. – V. 21. – No. 3. – P. 345–362.

9. Gromov V. E. Fatigue of steels modified by high intensity electron beams / V. E. Gromov, Yu. F. Ivanov, S. V. Vorobiev, S. V. Konovalov. – Cambridge International Science Publishing Ltd, 2015. 272 p.

УДК 631.829

СОДЕРЖАНИЕ СЕЛЕНА В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ: РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ (ОБЗОР)

Самохвалова О.С., Семина И.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: samohvalova_os@sibsiu.ru*

Проведен обзор литературы, изучающей исследования по содержанию селена в почвах и растениях. В большинстве регионов России на почвах с низкой обеспеченностью селеном отмечается его дефицит в урожае сельскохозяйственных культур. Для оптимизации питания растений на почвах с недостатком микроэлемента необходимо внесение селеновых удобрений, что положительно сказывается на продуктивности растений.

Ключевые слова: селен, почва, растения, человек, удобрения, оптимизация.

Введение

Селен – это хрупкий, блестящий на изломе неметалл серого цвета (данный цвет обусловлен устойчивой аллотропной модификацией, неустойчивые аллотропные модификации придают селену различные оттенки крас-

ного цвета), является аналогом серы. В последние десятилетия этот микроэлемент очень популярен, научно доказана его жизненная необходимость для животных и растений, входит в состав фермента глутатионпероксидазы, а также способствует укреплению иммунитета и выведению тяжелых металлов из организма. Селен является синергистом витамина Е и йода. При его дефиците йод плохо усваивается организмом, в организме человека возможно возникновение болезни Кешана, выражающейся в аритмии, увеличении размеров сердца, некрозе миокарда. Кроме того, наблюдаются следующие патологии: снижение иммунитета и функции печени, болезни кожи, волос, иногда катаракта, репродуктивная недостаточность. В тоже время доказано, что при превышении допустимых норм селен токсичен для растений, животных и человека. Люди, проживающие в селеновых геохимических провинциях, могут страдать от постоянной усталости и потери аппетита, гастритов [10]. Суточная потребность человека в селене находится в пределах 0,02 – 0,20 мг [13].

От содержания селена в почвах зависит качество, состав сельскохозяйственной продукции и, как следствие, здоровье населения. В связи с увеличением эпидемических заболеваний возникает потребность более углубленного и систематизированного изучения данного элемента.

Проведение научных исследований и дальнейшее внедрение результатов в практическую деятельность будет способствовать повышению содержания селена в растительной продукции, а также увеличению качественных показателей элемента в почвенном покрове.

Цель работы – обзор научных исследований и обобщение сведений о содержании селена в почвах, растениях и природных водах.

Объекты исследования – почвы, растения.

Результаты

Почвы. Кларк селена в земной коре составляет по Виноградову 50 мкг/кг, а по Беусу и Бородину он в 10 раз выше [2].

Наиболее часто в литературе встречаются следующие значения по содержанию селена в почвообразующих породах: для магматических пород 10-50 мкг/кг, для осадочных - 30-600 мкг/кг почвы. Наиболее часто селен встречается и в сульфидных рудах, в ураново-молибденовых и серных месторождениях. Обнаруживается он чаще в комплексе с фосфоритами, а также с минералами, содержащими Pb, Zn, Hg, Ag и Cu. По результатам В.В. Ермакова в известняках содержится до 110 мг/кг селена, в смеси известняка с доломитом - 110-1100 мг/кг, в сланцах 51-110 мг/кг, в сланцевых глинах - 61 мг/кг

Содержание селена в естественных почвах зависит от подстилающих пород, на которых они сформированы. Среднее содержание селена в почвах составляет 400 мкг/кг [2]. Концентрации его в почвах различных генетических типов обычно варьируют в пределах от 10 до 1200 мкг/кг. Как правило, почвы, образованные на элювиальных гранитах и метаморфизованных песчаниках, характеризуются невысоким содержанием селена. Валунные пески и супеси отличаются особенно низкими концентрациями этого элемента. В подзолистых и дерно-подзолистых малогумусированных почвах содержание

селена часто незначительно. Отмечено, что в почвах, сформировавшихся на вулканических породах, селена больше по сравнению с почвами, образовавшимися на глинах, песчаниках, известняках [4,16].

Существуют почвы очень богатые селеном. Так, на вулканических почвах о. Гавайи содержится до 6000 мг/кг. Содержание селена в отдельных почвах Шотландии колеблется от 11 до 210 мг/кг, Японии - от 41 до 110, Новой Зеландии - от 71 до 168 (Fisher, 1988), в почвах Ирландии - от 30 до 324. Пониженное содержание селена (1,1 мг/кг) обнаружено А.П. Виноградовым в отдельных образцах почв Русской равнины.

Биогеохимический мониторинг содержания селена в России проведен весьма неравномерно. Тем не менее, были выявлены обширные биогеохимические субрегионы с недостатком селена в Нечерноземной зоне Европейской части России, Южном Урале и Удмуртии [4]. Отдельные очаги недостатка данного элемента выявлены в Ярославской области и других областях лесостепной зоны [5]. Установлено, что на уровень содержания селена в почках оказывает влияние техногенное загрязнение природных комплексов. Интенсивное применение фосфорных удобрений, интенсивное загрязнение почв тяжелыми металлами могут стать причиной селенодефицита отдельных районов [12].

По результатам анализа почв, в отдельных образцах из пахотного слоя содержание селена составило 0,012-2,20 мг/кг со средним значением 0,24 мг/кг. В образцах почв Иркутской области найдено 0,03-0,18 мг/кг элемента, в Предкавказском черноземе - 0,01-0,03 мг/кг. Сравнительно высоко обеспечены селеном торфяные почвы Латвии - 0,59-1,01 мг/кг, Узбекистана - 0,85-2,2, Южного Урала - 0,7-17 мг/кг селена [5].

Учеными подробно изучено содержание селена в почвах Новосибирской области. На территории приведенной области существуют районы, где содержание селена в почвах невелико и возможен его дефицит в пищевой цепи. Так, в своих исследованиях авторы отмечают, что концентрация элемента в почвах наследуется от свойств материнских пород и убывает в направлении от Кузбасса на север в сторону Новосибирской области [10, 14].

Установлено, что при почвообразовательном процессе теряется 60-80 % селена из материнских пород. Почвы, содержавшие селен в количестве 2-4 мг/кг, образовались из материнских пород, имевших его около 10 мг/кг. Уменьшение содержания селена в процессе почвообразования происходит в результате выщелачивания, которое сопутствует практически любому почвообразовательному процессу. В целом, по результатам отдельных исследований в почвах РФ, можно отметить, что содержание селена в основном сильно варьируется отмечено достаточное количество районов с низким содержанием селена в пахотном горизонте.

Растения. Содержание селена в растениях зачастую варьируется также широко, как и в почвах: от 10 до 1500 мкг на 1 кг воздушно-сухой массы [6]. По данным некоторых ученых, уровень накопления селена в пшенице, выращенной в России, в 6-7 раз меньше, чем в зерне импортируемого из других стран [3]. В целом, по стране обеспеченность сельскохозяйственного произ-

водства микроэлементами не превышает 10% от их общей потребности [15].

В растениях селен находится как в неорганических соединениях (селенаты и селениты) так и в органической форме. В кислых почвах и при высоком содержании в них органического вещества селен представлен в виде селенидов и сульфитов, которые являются малоподвижными и труднодоступными соединениями для растений [1]. Встречается он также в форме свободных аминокислот, не связанных с белками, таких как селеноцистатинин, селеногомоцистеин. Промежуточными соединениями селенового обмена являются деметилселенид, триметилселенид, селеносуперсульфид, селенодиглутатион. У растений, не накапливающих селен и растущих в отсутствии избытка его в среде, он связывается в белковые комплексы. При избытке селена в среде, по мере роста наблюдается накопление свободных растворимых аминокислот, которые менее фитотоксичны, чем неорганические соединения. Наблюдается также образование промежуточных, летучих, метилированных соединений селена. Последнее характерно для растений-аккумуляторов этого элемента [7]. Основным проявлением биологической активности селена является его способность заменять серу большей частью в аминокислотах. У крестоцветных селен обычно заменяет серу эфирных масел, у мотыльковых - серу белков, точнее, замещает серу цистеина, цистина и метионина.

В листьях и стеблях растений селен находится в растворимой форме и переходит в водные экстракты; однако в семенах злаков он является составной частью резервных белков и находится в связанном состоянии [8].

Общее содержание селена в растениях зависит от ряда факторов: типа почвы, величины рН, окислительно-восстановительного потенциала, запасов селена в почвах, осадков, температуры и от стадии развития самого растения [6].

Все растения по способности усваивать и накапливать селен делятся на 3 группы.

Первая группа - растения-накопители, содержащие максимальное количество элемента - до 1000-15000 мг/кг сухой массы. К ним относятся виды из рода *Astragalus*, *Oenothera*, *Xylorrhiza*, *Stanleya*, *Brassica*. Характерно, что степень накопления элемента в указанных растениях была в 1000 раз больше, чем в почвах, на которых они произрастают. Наиболее типичными накопителями селена являются моринда, нептуния, акация. Даже на почвах с низким содержанием селена (0,01 мг/кг) в растениях-индикаторах его может быть до 1000 мг на 1 кг сухой массы; в то же время в клевере или райграсе - в пределах 0,01-0,9 мг/кг.

Вторая группа растений включает отдельные виды из родов *Aster*, *Atriplex*, *Castilleja*, *Grindelia*, *Gutierrezia*. Максимальное накопление селена достигается в них до нескольких сотен мг на кг сухой массы, если его немного в среде обитания растений. При умеренном накоплении элемента обычное среднее содержание селена в биомассе растений в 3-10 раз больше, чем в почве.

Третья группа растений накапливает максимально до 50 мг селена в

биомассе, но большинство видов в основном содержат менее 10 мг/кг. Сюда относятся все возделываемые сельскохозяйственные культуры, многие дикие злаки, ряд бобовых растений. Обычное среднее содержание селена в растениях составляет 0,1-1,0 мг/кг даже на почвах, богатых селеном. Минимальное содержание приближается к 0,05 мг/кг, ниже которого отмечается дефицит селена). Вне биохимических селеносных районов среднее содержание данного элемента по странам мира в растениях 3 группы изменяется от 0,06 до 1,0 и в большинстве случаев составляет 0,08-0,20 мг/кг [6].

Различие в поглощении селена отдельными видами растений (например, в 1 и 3 группах) при одном и том же содержании его в почве может быть очень большим. Так, при экстремально высоком содержании селена в почве, в растения *Malvastrum coccineum* его поступало 1 мг/кг, а в *Astragalus rectinatus* – 4000 мг/кг [6].

Однако, несмотря на широкий диапазон концентраций в поступлении селена в растения, зависящее от почвенных условий, связь между общим содержанием элемента в почвах и растениях в полной мере не выявлена. Зависимость между содержанием селена в почве и растениях в незначительной степени установлена только при учете количества селенитов в почве как более стабильных и менее растворимых комплексов. Считается, что это более реальный путь прогнозирования количества доступного селена для пастбищного травостоя. Существует прямая связь между водорастворимыми селенитами почвы, и селенитами, усвояемыми растениями. Отмечено, что при одном и том же содержании в почве селена поступает больше всего в крестоцветные культуры, затем в бобовые и зерновые культуры [7]. При широком разнообразии почв РФ о содержании селена в растениях можно судить только по отдельным. В Тувинской АССР при относительно повышенном содержании селена в почвах в растениях его найдено 0,34-13,1 мг/кг. Низкое содержание обнаружено в природных луговых травах Белоруссии - от 0,04 до 0,09 мг/кг. В Иркутской области корма (овес, пшеница, сено, луговые растения, кукуруза, комбикорма) содержат селена от 0,016 до 0,13 мг/кг, в Красноярском крае - от 0,12 до 0,18 мг/кг, корма Белгородской области - от 0,033 до 0,067 мг/кг, травы Читинской области - от 0,008 до 0,22 мг/кг [6].

В целом, результаты отечественных исследований позволяют отметить, что на карбонатных почвах селен в растениях накапливается в достаточном количестве. На дерново-подзолистых почвах, особенно при сильном выщелачивании, селена в травостое растений содержится меньше оптимального уровня.

Поэтому целесообразно вносить селеновые удобрения, также торфогуминовые удобрения, которые влияют не только на концентрацию селена в растениях, но и на величину урожая, что доказано в проведенных исследованиях, в частности, с соей, люцерной, кострцом [9].

Заключение

Анализ научных исследований позволяет сделать вывод о том, что содержание селена в почвах и растениях зависит от условий почвообразования,

свойств почв, состава почвообразующих пород, количества подвижной формы элемента, климатических условий, антропогенных факторов, биологических и видовых особенностей растений. На почвах с дефицитом селена для улучшения питания растений, повышения качества продукции и урожайности сельскохозяйственных культур необходимо рациональное применение селеновых микроудобрений. Для потребления человеком селена рекомендуется обогащать продукты питания данным элементом, так, например, это нашло активное внедрение в Алтае [11].

Библиографический список

1. Аристархов А.Н. Оптимизация полиэлементного состава в агроэкосистемах России. Эколого-агрохимическая оценка состояния, дефицита, резерва, способов и средств управления // М.: Изд-во ВНИИА. 2019 г. 832 с.
2. Виноградов А.П. Геохимия рассеянных и редких элементов в почвах // М.: Изд-во АН СССР, 1957. 237с.
3. Голубкина Н.А. Перспектива использования селена в растениеводстве // Вестн. РАСХН. 2006. № 1. С. 49-55.
4. Ермаков В.В. Биогеохимия селена и его значение в профилактике эндемических заболеваний человека // Вестник отделения наук о земле РАН. 2004. № 1. С. 1–17.
5. Ермаков В.В. Миграция селена в биогеохимических пищевых цепях ландшафтов России // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. 2008. № 2. С. 3–10
6. Ермаков В.В., Ковальский В.В. Биологическое значение селена // М.:Наука. 1974г. 298с.
7. Ермаков В.В., Прошлякова О.Д., Хабаров В.Б., Гаранина Н.С. Миграция селена в системе: почва-растение в условиях Восточной Мещеры // Материалы 5 биогеохимических чтений «Биогеохимическая индикация аномалий». М., 2004. - С. 38
8. Ermakov V.V. Migracija selena v biogeohimicheskikh pishhevyh cerjah landshaftov Rossii // Problemy biogeohimii i geohimicheskoy jekologii. 2008. № 2. S. 3–10.
9. Голов В.И., Самохвалова О.С., Ананьева Э.В., Тимофеев А.Н. Условия накопления микроэлементов и тяжелых металлов основными кормовыми культурами на почвах Амурской области // Вестник КрасГАУ. 2007. № 2. С. 59 – 62.
10. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирский области // Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2001 г. 229 с.
11. Наумова Н.Л. Изучение сохранности эссенциального элемента селена при разработке обогащенного пастеризованного молока // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 9. С. 124-126
12. Побилат А.Е., Волошин Е.И. Особенности содержания селена в

системе почва-растение // Вестник КрасГАУ. 2020. № 11. С 95-102

13. Система мелиоративного земледелия в гумидной зоне Сибири // Красноярск: СибНИИГиМ. 1995 г. 114 с.

14. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири // Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2007. 207 с.

15. Ягодин Б.А. Обеспечение сельскохозяйственного производства микроэлементами // Агрохимия. 2000. № 12. С. 45-52

16. Cabata – Pendias A. Trace Elements in Soils and Plant. 4th Bosa Raton, FL: CrcsPress, 2010. 548 p.

УДК 669.112:539.4:669.539.382

ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЯ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ

**Порфирьев М.А., Юрьев А.А., Кормышев В.Е.,
Шлярова Ю.А., Громов В.Е.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: mporf372@gmail.com*

Методами современного физического материаловедения исследована эволюция структурно-фазовых состояний и дислокационной субструктуры рельсовой стали при деформации одноосным сжатием до степени 50%. Выявлена фрагментация перлитных зерен, возрастающая с ростом степени деформации, и пластин цементита, размер фрагментов которого 15-20 нм слабо зависит от степени деформации. Проанализировано изменение скалярной и избыточной плотности дислокаций с увеличением степени деформации.

Ключевые слова: деформация сжатием, рельсовая сталь, структура, дислокационная субструктура.

Одним из способов изменения структуры и свойств материалов, характеризующих сопротивление хрупкому разрушению, является деформационное упрочнение [1]. Как известно, пластическая деформация – это сложный процесс, в результате которого вместе с изменением строения и формы исходного состояния материала меняются его физико-химические и механические свойства. При самых различных видах и режимах пластической деформации в кристаллических материалах с различным типом кристаллической решетки наблюдается фундаментальное явление фрагментации, т.е. деформационное измельчение структуры материалов порядка до 100-200 нм [2, 3].

Всестороннее рассмотрение свойств, характеризующих сопротивление разрушению, показало принципиальную возможность эффективного деформационного упрочнения стали перлитного класса. Знание закономерностей формирования структурно-фазовых состояний и свойств перлитной стали при пластической деформации необходимо для управления процессом деформационного поведения. Важность информации в этой области определя-